

**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:** 100 (2002)

**Heft:** 10

**Artikel:** Orientation directe d'une caméra héliportée avec GPS et INS

**Autor:** Jacquemettaz, D. / Vallet, J. / Skaloud, J.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235939>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 01.04.2025

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

## Orientation directe d'une caméra héliportée avec GPS et INS

La recherche en matière de développement de modèles d'écoulements d'avalanches passe par la connaissance précise des volumes de neige impliqués. La photogrammétrie permet de quantifier de telles informations, toutefois les régions impliquées dans de tels phénomènes ne permettent pas toujours l'établissement de points de contrôle précis et bien répartis sur l'ensemble de la zone. Face à cette constatation, un outil intégrant caméra photogrammétrique, système inertiel et GPS a été mis au point. Le but de l'étude est de permettre une détermination de l'orientation des clichés sans l'aide de points de contrôle au sol. Une telle détermination passe par une première phase de calibration et de nombreux aspects opérationnels. Cet article traite du problème de l'alignement du système inertiel par l'ajout de données azimutales, de l'intégration de capteurs INS et GPS ainsi que de la méthode de calibration employée.

*Die Forschung auf dem Gebiet der Entwicklung von Lawenniedergangsmoellen stützt sich auf die genaue Kenntnis der beteiligten Schneemengen. Mit der Photogrammetrie kann man solche Informationen quantifizieren, aber die von solchen Phänomenen betroffenen Regionen erlauben es nicht immer, genaue über das ganze Gebiet verteilte Kontrollpunkte zu errichten. Angesichts dieser Feststellung ist eine Photogrammetrie, Trägheitssystem und GPS vereinigende Einrichtung geschaffen worden. Das Ziel der Untersuchung besteht darin, die Orientierung der Klischees ohne Mithilfe von Kontrollpunkten am Boden zu bestimmen. Eine solche Bestimmung erfordert eine erste Phase der Eichung und zahlreiche operationelle Schritte. Dieser Artikel behandelt das Problem der Ausrichtung des Trägheitssystems durch das Zufügen von Azimutdaten, die Integration der INS und GPS-Empfänger sowie die verwendete Eichmethode.*

La ricerca nel campo dello sviluppo dei modelli di discesa delle valanghe implica la conoscenza precisa dei modelli di neve in questione. La fotogrammetria permette di quantificare queste informazioni, ma le regioni coinvolte in tali fenomeni non permettono sempre di definire dei punti di controllo precisi e ben ripartiti sull'insieme della zona. Alla luce di tale constatazione, si è messo a punto uno strumento contenente una camera da presa fotogrammetrica, un sistema inerziale e un GPS. Lo scopo della ricerca consisteva nel permettere la determinazione dell'orientamento dei fotogrammi senza aver bisogno dei punti di controllo al suolo. Una tale determinazione passa attraverso una prima fase di calibratura e di altri aspetti operativi. L'articolo seguente esamina il problema dell'allineamento del sistema inerziale, aggiungendo i dati azimutali, l'integrazione dei ricevitori INS e GPS nonché il metodo di calibratura utilizzato.

*D. Jacquemettaz, J. Vallet, J. Skaloud*

### Introduction

En partenariat avec l'Institut Fédéral d'Etude de la Neige et des Avalanches de Davos (IFENA/SLF), l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne conduit un projet

visant à mettre au point un système intégrant caméra photogrammétrique, système inertiel (INS) et GPS [1]. Le but d'une telle intégration est de tirer parti des avantages complémentaires des différents capteurs pour permettre une détermination précise de l'attitude de la caméra à l'instant d'une prise de vues sans l'appui de points de contrôle au sol.

### Précision requise et objectifs

Dans la plupart des modèles dynamiques de transport de neige, l'élément essentiel reste la quantité déplacée. Jusqu'à présent la validation des modèles d'avalanches développés repose sur la comparaison de deux états statiques de la situation; un avant et l'autre après le phénomène observé, la quantité transportée durant l'événement étant l'inconnue recherchée. Actuellement l'outil le plus efficace pour la détermination des volumes en jeu est la photogrammétrie, qui permet, avec des moyens qui restent abordables une saisie zonale et instantanée de la couverture neigeuse avec la précision requise ( $\pm 15-25$  cm). En effet, il faut savoir que l'exigence pour la détermination des hauteurs de neige doit correspondre à environ 10% de la profondeur réelle [1]. Cette précision variera donc avec l'épaisseur de la couche, qui peut différer considérablement entre la zone de départ et la zone de dépôt. Dans la première, l'épaisseur atteint rarement

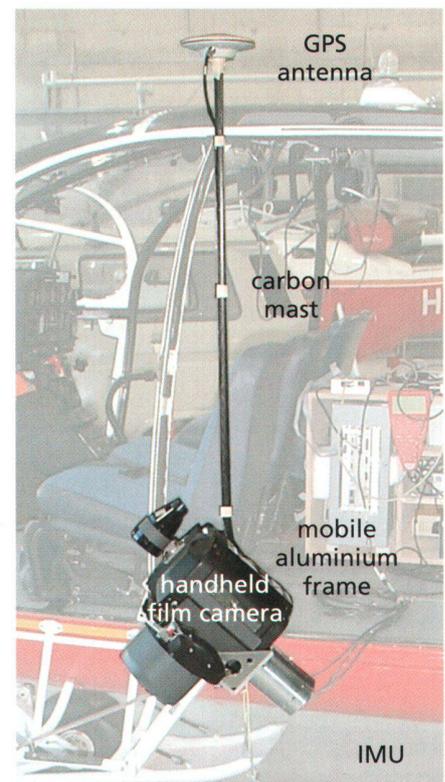


Fig. 1: Le système caméra-INS-GPS.

3 m et une précision de l'ordre de 15 à 30 cm est requise alors que pour la zone de dépôt, il faut compter une précision de 20–30 cm pour les petites avalanches et jusqu'à 50 cm pour les grandes.

Le système intégré devrait donc permettre de mesurer des points au sol avec une précision de l'ordre de 15 à 20 cm. Pour ce faire, les étapes suivantes ont été abordées. Premièrement il s'agissait d'optimiser le filtrage lors de l'intégration des données inertielles et GPS. Ensuite, l'ajout d'une information d'azimut supplémentaire a été testé pour déterminer son influence sur la précision de la solution d'intégration. Enfin l'orientation de la caméra relativement au système INS/GPS étant *a priori* inconnu, une procédure de calibration (*boresight alignment*) a été développée.

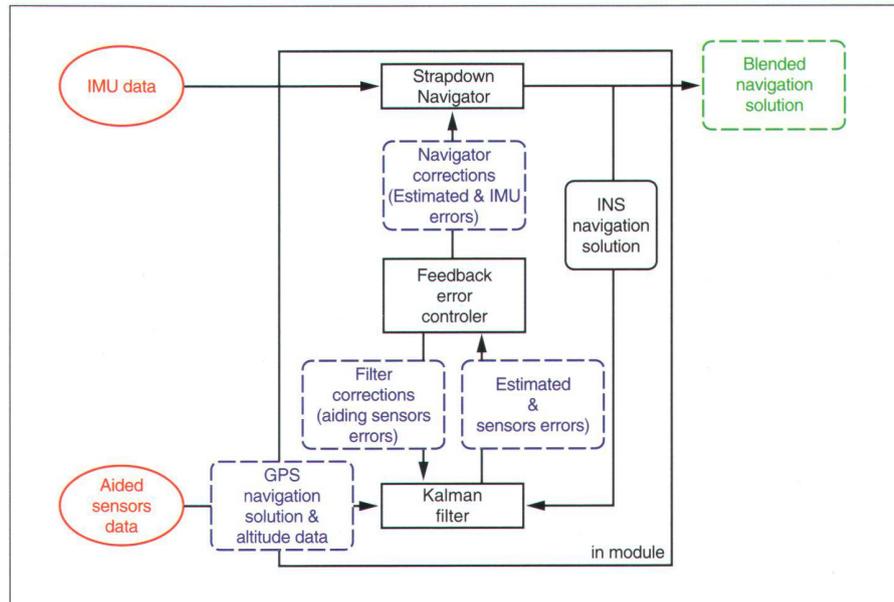


Fig. 2: Architecture du module d'intégration.

## Le matériel utilisé

Le système caméra-INS-GPS forme un tout solidaire (fig. 1). Lors des vols de transition il est fixé à l'hélicoptère et maintenu dans une position fixe. Une deuxième antenne GPS fixée sur le fuselage permet de déterminer alors des azimuts. Lors des séances de prises de vues, l'opérateur porte lui-même le système et l'information d'azimut n'est alors plus disponible, l'orientation du système n'étant plus constante. Un système inertiel permet de collecter les mesures d'accélération et de vitesses angulaires selon une fréquence de 400 Hz. Les données de positions sont mesurées par GPS selon une fréquence de 10 Hz.

### INS

Un système inertiel *strapdown* est composé de trois accéléromètres et de trois gyroscopes, disposés selon un système d'axes orthonormés. La détermination des angles d'attitude du système est réalisée par intégration des vitesses angulaires et sa position obtenue par intégration des accélérations. Le principal problème des systèmes inertiels est une tendance à la dérive au cours du temps. Un recalage du système est donc essentiel pour l'établissement d'une solution précise sur le long terme. Le système uti-

lisé ici est le modèle LN-200 de la firme Litton.

### GPS

Les mesures GPS servent premièrement à fournir des informations de positions stables pour les phases d'update du système intégré ainsi que pour la détermination de l'azimut supplémentaire testée dans le processus d'intégration. Ces mesures ont été effectuées selon une fréquence de 10Hz à l'aide de deux récepteurs GPS System 500 de Leica-Geosystems.

## Processus d'intégration

L'intégration INS/GPS vise à tirer parti des avantages complémentaires des capteurs, en corrigeant le biais et la dérive de l'inertiel et en disposant d'une fréquence de mesure élevée. Cela a été réalisé à l'aide du programme POSProc de la firme Applanix. L'architecture du module d'intégration est résumée dans la figure 2. Il est constitué d'un *navigateur* qui traite les données inertielles et les corrections provenant du *contrôleur* afin de déterminer une solution de navigation. Un *filtre de Kalman* traite les informations GPS et inertielles et détermine ainsi les corrections à apporter aux différents capteurs.

## Procédure d'alignement

Pour déterminer une solution de navigation précise à l'aide de la méthode inertielle, le système doit être au préalable aligné. C'est à dire que son cadre de référence doit correspondre à celui du système local (NED: North-East-Down). Cette opération est réalisée en deux étapes. Premièrement il y a la recherche de la verticale à l'aide de la gravité. En effet, si le système est aligné et à l'horizontale, seul l'accéléromètre lié à l'axe vertical sera en mesure de ressentir une force. Tant que ce n'est pas le cas le système cherche cette position. La deuxième étape consiste à déterminer le nord. Ceci peut être réalisé grâce à la l'accélération terrestre liée à la rotation ou à l'aide de mesures d'azimut externes (vitesse ou azimut GPS par exemple).

## Calibration de la ligne de visée

Les défauts d'alignement entre les cadres de référence de la caméra et du système inertiel étant *a priori* inconnus, une calibration est essentielle afin de pouvoir exploiter les mesures inertielles pour l'orientation des clichés. La méthode consiste à prendre des images sur lesquelles sont vi-

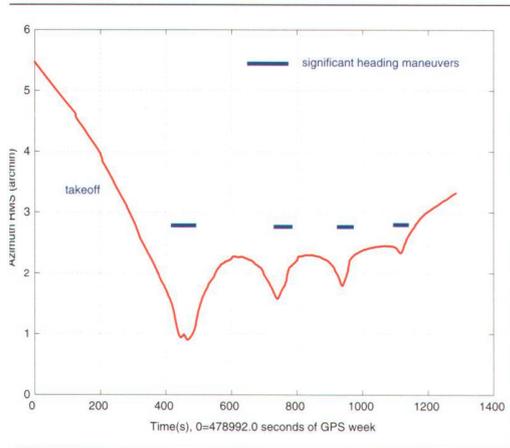


Fig. 3: Précision sur la valeur d'azimut.

sibles des points de contrôle. Ensuite on détermine l'orientation des photos d'une part à l'aide d'une méthode de photogrammétrie classique et d'autre part à l'aide de la méthode inertielle. L'écart entre les deux méthodes devant être constant pour plusieurs prises de vues successives. Toutefois, les deux méthodes ne se rapportent pas aux mêmes systèmes de référence. En effet, la photogrammétrie se rattache à un système de projection invariant en fonction du lieu, alors que les mesures inertielles sont réalisées relativement à un référentiel local NED, dont l'orientation varie en fonction de la position à la surface du globe. De manière à pouvoir comparer les deux types de mesures, leurs référentiels respectifs doivent être mis en correspondance. Cela a été réalisé par le biais de rotations permettant la transition entre les systèmes propres aux capteurs, à la caméra, au système NED et au système de projection utilisé (Mercator Transverse).

## Travaux et résultats

Un vol photo a été effectué au-dessus de la vieille ville de Sion ainsi qu'au-dessus du site expérimental de la vallée de la Sionne. Les données obtenues ont permis de calculer une solution de navigation dont les écarts-types sur les positions sont de l'ordre de 2.5 cm alors que ceux sur les orientations sont compris entre 0.01° et 0.016°. Dans ce but une fréquence de mise à jour optimale a du être déterminée.

Méthode	Contraintes		Ecart-type sur les points de contrôle		
	Point contrôle	Bloc aéro	Est	Nord	Altitude
AT	X	X	5	4	4
AT + GPS		X	6	6	8
GPS / INS			8	9	17

AT: Aérotriangulation classique effectuée uniquement à l'aide des points de contrôle  
 AT+GPS: Aérotriangulation aidée des positions GPS et effectuée à l'aide des pts de liaison uniquement  
 GPS/INS: Méthode directe (sans pts de contrôle, ni pts de liaison)

Tab. 1: Comparaison entre les méthodes de mesure.

Pour cela on compare une solution intégrée à 2 Hz avec différentes solutions à 1, 0.5, 0.2 et 0.1 Hz. Le critère de sélection étant de trouver la fréquence dont l'effet sur la solution se rapproche de la précision du GPS (env. 2 cm). Cette fréquence optimale est de 1 Hz. Le deuxième point traitant de l'azimut additionnel est représenté sur la figure 3. La présence de cet azimut, dans de bonnes conditions de dynamique, permet d'obtenir une précision sur le cap de l'ordre de 0.015°. De plus si la caméra reste fixée à l'hélicoptère (i.e. si l'azimut supplémentaire est disponible) cette précision peut être maintenue même durant de longues lignes de vol où la dynamique est faible. Sans cette information d'azimut supplémentaire, des mouvements significatifs de l'appareil devront être observés pour

maintenir une précision acceptable (cf. fig. 3).

Le processus de calibration a permis de récolter les données au-dessus de la ville de Sion. Durant cette phase, on a procédé à un alignement de la ligne de visée, pour lequel des écarts-types sur les défauts d'alignement sont de l'ordre de 0.012°. La correction des données inertielles à l'aide de ces valeurs a permis un contrôle efficace de la méthode puisque les écarts observés sur les points de contrôle déterminés par résection inverse sont inférieurs à 10 centimètres en planimétrie et de 17 centimètres en altimétrie. La figure 4 montre les résidus observés sur les divers points de contrôle en fonction du nombre de photos sur lesquelles ils sont visibles.

Le tableau présente les résultats sur les

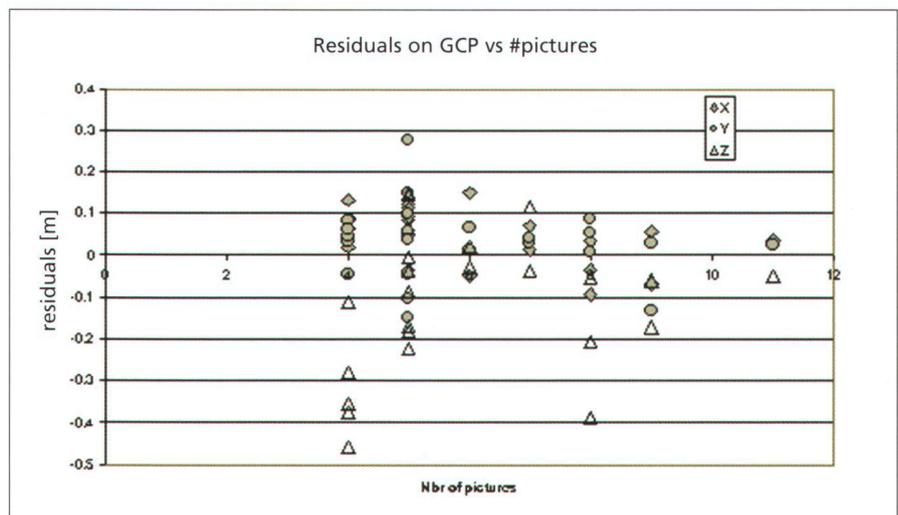


Fig. 4: Résidus sur les points de contrôle en fonction du nombre de photos les contenant.

points de contrôle au sol en fonction de différentes approches d'orientation externe. Les résultats obtenus par la méthode directe présente une précision inférieure à ceux obtenus par les méthodes classiques (AT et AT/GPS). Toutefois ces résultats restent dans les limites fixées par le cadre de l'étude ( $\pm 15-20$  cm) tout en fournissant une saisie grandement facilitée en se passant de points de contrôle au sol.

### Perspectives et conclusion

La méthode d'orientation directe avec GPS et INS est tout à fait satisfaisante pour répondre aux exigences de précision formulées dans les recherches sur les avalanches comme celles qui sont menées sur le site de la Sionne. Lors d'une telle opération de photogrammétrie en région de montagne, le gain est important lorsque l'on peut se passer de points au sol et éviter la constitution d'un bloc d'aérotriangulation. De plus cette méthode pourrait également être utilisée pour des travaux cartographie à grande échelle sans avoir à signaler et à mesurer des points de contrôle au sol.

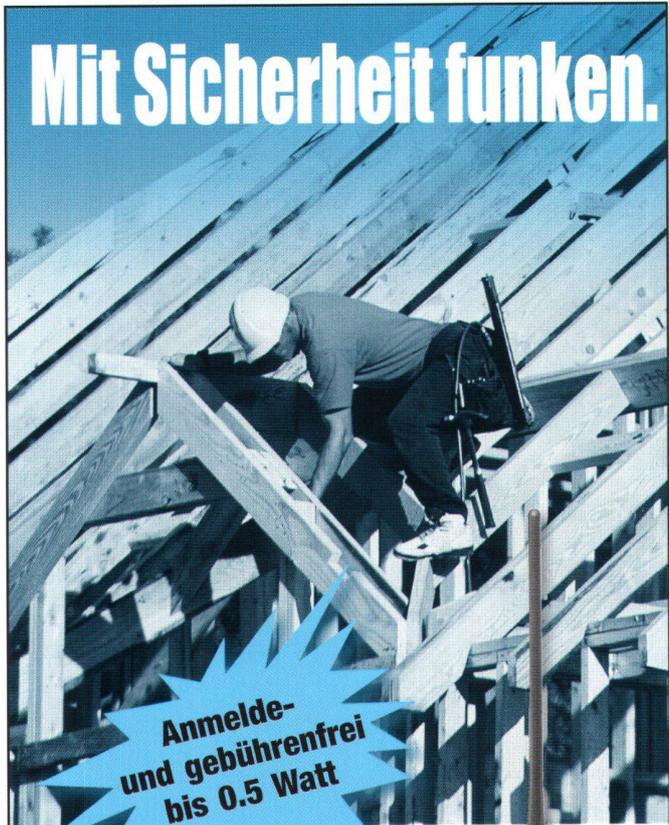
#### Bibliographie:

[1] Vallet, J., Skaloud, J., Koelbl, O., Merminod, B., (2000): Development of a helicopter-based integrated system for avalanche mapping and hazard management. International Archives of Photogrammetry and Remote sensing, Vol XXXIII, part B2, Amsterdam, pp.565-572.

Didier Jacquemettaz, J. Skaloud  
Laboratoire de topométrie  
Ecole Polytechnique Fédérale de  
Lausanne  
CH-1015 Lausanne

Julien Vallet  
Laboratoire de photogrammétrie  
Ecole Polytechnique Fédérale  
de Lausanne  
CH-1015 Lausanne

# Mit Sicherheit funken.



**Anmelde-  
und gebührenfrei  
bis 0.5 Watt**

Ideal, günstig, schnell und sicher.  
Überall wo rationell gearbeitet wird.  
Für Industrie, Bau, Unterhalt- und  
Servicedienste.

**PMR 446**  
0.5 Watt

**CHF 385.-**

**Handy 430**  
2.5 Watt

**CHF 459.-**



Betriebsbereit, mit Akku und Ladegerät.

## KENWOOD

The Power of Communication.

### JA, ich möchte mit KENWOOD funken.

Bitte senden Sie mir weitere Gratisinformationen.

Name/Vorname

Firma

Strasse

PLZ/Ort

Telefon

Telefax

E-Mail



Gleich  
Gratisinfos  
anfordern.

## ALTREDA

Altrede AG

Max-Högger-Strasse 2, CH-8048 Zürich  
Telefon 01 432 09 00, Telefax 01 432 09 04  
[info@altreda.ch](mailto:info@altreda.ch), [www.altreda.ch](http://www.altreda.ch)

VPK 10/02 200221