

APPLICATION RELATIVE AU RÉSEAU WALCORS : LE SYSTÈME D'ACQUISITION MOBILE

Anne-Sophie COLLIGNON, Bruno PLOUVIER & Albert COLLIGNON

Résumé

Dans l'optique de la mise à jour de la carte topographique de référence de la Région Wallonne (Projet Informatique de Cartographie Continue : P.I.C.C.), la Direction de la Topographie et de la Cartographie (DTC) du Ministère de l'Équipement et des Transports (M.E.T, Belgique) développe un système d'acquisition mobile constitué de quatre caméras numériques, d'un GPS-RTK et d'une station inertielle. Les précisions planimétriques et altimétriques requises étant contraignantes, il est impératif de calibrer l'ensemble du matériel. Il s'agit de connaître avec la plus grande précision, la géométrie interne des images générées (distance focale, point principal et distorsions) par l'utilisation d'une technique de post-calibration, de maîtriser les positions relatives des divers éléments, ainsi que d'affiner les paramètres de géoréférencement direct des prises de vues à l'aide du GPS et de la station inertielle pour permettre la restitution. Les résultats obtenus jusqu'ici sont encourageants, et la grande précision devrait être disponible vers la mi-2006. Au-delà de l'objectif de mise à jour de la DTC, ce véhicule peut fournir une solution idéale pour de nombreuses applications nécessitant le positionnement d'éléments à proximité de la voirie et des infrastructures de transport gérées par le ministère. etc.

Abstract

In order to update the « Projet Informatique de Cartographie Continue (PICC) », the Direction of Topography and Cartography (DTC) of the Ministry of Equipment and Transports (MET, Belgium) is developing a mobile mapping system based on four digital cameras, a GPS-RTK and an Inertial Measurement Unit (IMU). The precision constraints in planimetry and altimetry require a sound calibration of the system. The internal geometry of the generated photographs (focal length, principal point and distortions) has to be precisely known by post-calibration, the relative positions must be handled and the direct georeferencing parameters of the exposures with GPS and IMU have to be reliable enough to ensure a good restitution. The results obtained up to now are promising and it is expected to reach the high precision in the middle of 2006. Besides the initial objective of the DTC, this vehicle can be considered as an ideal solution for number of applications which look for the positioning of elements next to the roadway system.

I. INTRODUCTION

La Direction de la Topographie et de la Cartographie (DTC) du Ministère de l'Équipement et des Transports a été chargée, en 1991, de la réalisation du Projet Informatique de Cartographie Continue, plus connu sous l'abréviation P.I.C.C. (fig. 1). Il s'agit de l'élaboration d'un fond de plan numérique qui couvrira l'ensemble du territoire de la région wallonne (Ministère de l'Équipement et des Transports, 2002).

D'ici peu, une première couverture sera entièrement réalisée. Se pose alors le délicat problème de la mise à jour de toutes ces données. En effet, depuis le début du chantier en 1991, bien des travaux ont été réalisés, notamment sur le réseau routier. Jusqu'ici, ces mises à jour se font à l'aide de levés topographiques coûteux.

C'est pourquoi la DTC a décidé de se tourner vers les nouvelles technologies. Une des solutions envisagées est celle présentée dans cet article. Le système d'acquisition mobile utilise, entre autre, la technologie GPS RTK par l'intermédiaire du réseau de stations de référence permanentes WALCORS (*Wallonia Continuous Operating System*) développé par la même DTC (Dejardin, 2003). Après une présentation générale du matériel, les précisions annoncées par le fournisseur (SODIPLAN, 2006) seront comparées à celles requises pour le P.I.C.C. Ces dernières sont plus contraignantes et nécessitent, par conséquent, de nombreux développements qui passent par une calibration fine des instruments. Nous étudierons aussi la configuration à retenir afin d'améliorer encore les précisions attendues. Ensuite, seront présentées diverses techniques pour le traitement des données brutes en vue de la mise à jour souhaitée, et d'autres applications pour

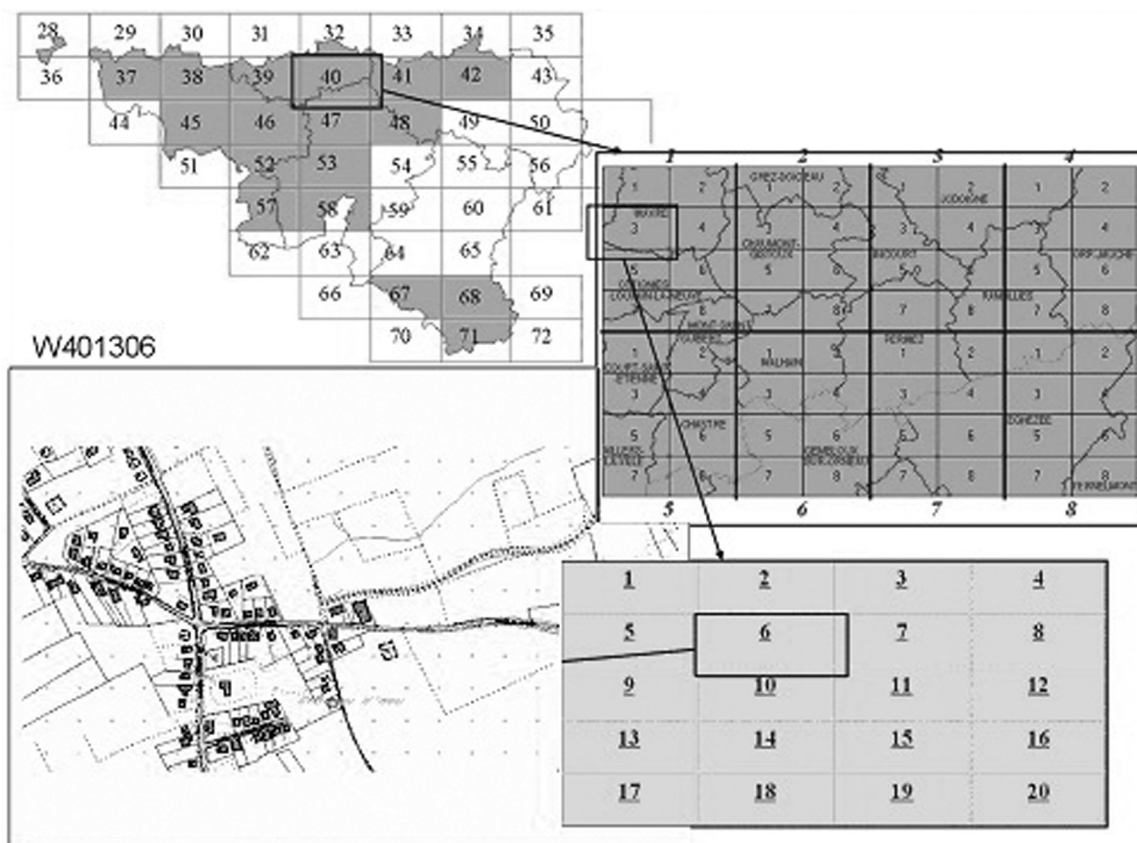


Figure 1. Extrait du P.I.C.C. et de son découpage



Figure 2. a) Véhicule équipé – b) Caméras frontales et latérales

Tableau 1. Récapitulatif des caractéristiques des caméras

Résolution capteur CCD	1600x1200 pixels
Taille pixel	4,4 microns
Type d'optique	TAMRON
Focale approximative	6,64 mm

lesquelles ce système offre une solution idéale. Nous terminerons par un aperçu des avantages et contraintes d'un tel système et concluons par les perspectives à court, moyen et long terme.

II. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU VÉHICULE ET DE SON ÉQUIPEMENT

Le système d'acquisition mobile est un véhicule utilitaire acheté en 2004 par la DTC, dans lequel a été installé un équipement performant dans le domaine de la cartographie assistée par ordinateur (fig. 2a).

Sur des barres de toit rigides sont fixées 2 caméras frontales et 2 latérales (fig. 2b). Il s'agit de caméras numériques avec capteurs CCD de 1.600 x 1.200 pixels de 4,4 microns. Les capteurs peuvent atteindre une fréquence maximum de 14 images par seconde. Les caméras sont équipées d'un système de lentilles TAMRON de focales approximatives de 6,64 mm. En outre, à l'extrémité du moyeu de la roue arrière est fixé un odomètre afin de paramétrer le déclenchement des prises de vues à équidistance (fig. 3).



Figure 3. Odomètre fixé à la roue arrière du véhicule

A. Description intérieure du véhicule

L'un des composants essentiels à l'obtention d'images géoréférencées est le Black Diamond System (BDS), se composant d'un capteur et d'un contrôleur. Le capteur (*BDS sensor*) reprend l'antenne GPS-702 NOVATEL et la station inertielle. Le système GPS embarqué à bord du véhicule est constitué de l'antenne, du récepteur et d'un GSM configuré pour se connecter au réseau WALCORS afin de disposer de la technologie RTK (*Real Time Kinematic*) pour obtenir des précisions centimétriques en temps réel.

La station inertielle ou IMU (*Inertial Measurement Unit*) contient 3 accéléromètres et 3 gyroscopes afin de mesurer les accélérations le long des trois axes (x, y, z)

ainsi que les variations angulaires (fig. 4). L'orientation du véhicule est définie par l'azimut et son attitude par les rotations de tangage et de roulis autour des axes x et y .

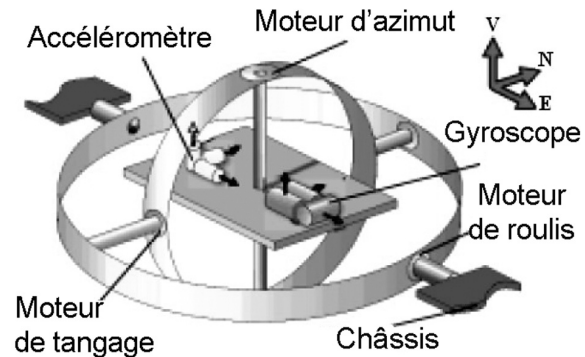


Figure 4. Schématisation d'une station inertielle (d'après Abuhadrous, 2005 p. 21)

La station inertielle permet d'interpoler la position du véhicule au moment précis de la prise de vue, au départ des événements GPS enregistrés toutes les secondes, et aussi de palier une éventuelle courte perte de signal GPS. En effet, dans ce dernier cas, la qualité de positionnement se dégrade instantanément, et la donnée de position devient inexploitable. L'IMU permet de déterminer la position du mobile au départ de la dernière position valide. L'exactitude de localisation se dégrade au cours du temps mais, en général, le délai avant ré-acquisition du signal est suffisamment court pour ne pas poser de problème.

Le contrôleur (*BDS controller*) reçoit les données du GPS et de la station inertielle. Il génère un fichier de données qu'il transfère vers un ordinateur. Ce fichier contient de nombreuses d'informations, telles que la position à l'instant précis de la prise de vue, la date et l'heure, la qualité du signal GPS, les écarts-types de positionnement, ainsi que l'orientation spatiale de la station inertielle.

B. Informatique embarquée

Le matériel informatique embarqué consiste en un bâti métallique supportant 4 PC sous Windows XP, dont un serveur, chacun d'eux étant assigné à une caméra. Ils sont alimentés en 220 volts grâce à un convertisseur 12-220 volts situé sous le siège passager. Un écran plat et un clavier installés dans le poste de conduite permettent à l'opérateur de contrôler de manière interactive l'ensemble du processus de capture.

C. Paramétrage et fonctionnement du véhicule

Moins de 5 minutes de déplacement dans des directions différentes, suffisent pour initialiser la station inertielle.

C'est un « hyperterminal » qui connecte la station inertielle et le GPS au serveur (ordinateur qui gère la

caméra 1) afin d'aligner l'IMU, de se connecter au réseau WALCORS, et de contrôler leur bon fonctionnement. L'opérateur peut ensuite démarrer le logiciel de capture d'images KRONOS. C'est à travers celui-ci que les divers réglages, tels que luminosité, fréquence de prise de vue et temps de pose, peuvent être fixés et que l'état GPS peut être contrôlé.

Un réglage important est celui de la fréquence, qui peut se décliner de deux manières différentes, soit en terme de nombre d'images par seconde (mode « temps fixe »), soit en terme de distance fixe entre trames successives, et ce, grâce à l'odomètre. Il est relié au serveur et assure la synchronisation de l'ensemble des 4 caméras.

Il faut cependant être attentif au fait qu'un recouvrement suffisant est nécessaire au traitement photogrammétrique. En mode temps fixe, le recouvrement est variable et dépend de la vitesse. Tandis qu'en mode distance fixe, le recouvrement est constant, et la vitesse est limitée par la fréquence de 7,5 images par seconde. Ce qui donne, par exemple, pour une distance fixe de 2 m, une vitesse de 54 km/h. Le choix de la fréquence 7,5 images par seconde, parmi les 3 valeurs offertes par le logiciel KRONOS, est dicté par la tolérance des capteurs CCD actuellement disponibles (tableau 2). Une fois ces paramètres définis, la saisie peut commencer.

D. Applications

Pour la direction de la Topographie et de la Cartographie du MET, l'application primordiale du véhicule est sa participation à la mise à jour du Projet Informatique de Cartographie Continue (P.I.C.C.). Actuellement ces mises à jour consistent en levés topographiques des avaloirs, taques, bords de route, maisons, murets et autres objets, qui sont aisément identifiables sur les prises de vues (fig. 5).

Ce matériel peut aussi servir au relevé de la signalisation routière, horizontale et verticale, à des recensements divers (arbres, poteaux d'éclairage, etc.), au relevé topographique d'aménagement de voiries, et à bien d'autres applications.

III. DÉVELOPPEMENTS SCIENTIFIQUES

A. Précisions

Dans sa configuration d'origine (caméras positionnées parallèlement à l'assiette du véhicule, calibration initiale, technologie D-GPS), et selon les spécifications du fournisseur (SODIPLAN, 2006), ce matériel permet de positionner les éléments désirés à 1 m près. Or, le but premier de la DTC est d'utiliser cette technologie pour

Tableau 2. Définition des paramètres de prise de vue

Mode	Vitesse	Recouvrement
Temps fixé	Limité par le recouvrement, soit par la distance entre 2 trames	Variable en fonction de la vitesse
Distance fixée	Limité par la fréquence maximale offerte par le logiciel de capture d'images KRONOS	Constant
Fréquence autorisée (images / seconde)	Capteur CCD	Logiciel KRONOS
	De 0 à 14	15 – 7,5 – 3,75

Tableau 3. Résultats de la calibration interne

	Caméra droite
Focale (mm)	6,5902
Point principal (mm)	X = 0,0288 Y = -0,2221

Tableau 4. Distorsions observées

Distorsions en microns par pas de 0,5 mm	20,0	35,2	45,5	45,2	32,7	5,6	-38,3	-101,1	-184,5



Figure 5. Objets identifiables pour le PICC

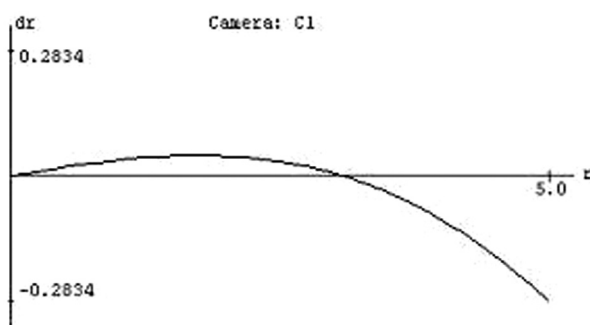


Figure 6. Graphique des distorsions radiales symétriques

mettre à jour le P.I.C.C., pour lequel les précisions requises sont de 12 cm en planimétrie et de 15 cm en altimétrie. De nombreux développements sont par conséquent indispensables. Le principal porte sur la calibration, qui se décline en trois étapes.

B. Les trois étapes de la calibration

Tout d'abord la *calibration interne* permet de déterminer la géométrie de la caméra qui a fourni l'image, par une détermination fine de la focale, du point principal et des distorsions. Notons que pour ces systèmes optiques, on constate des distorsions très importantes (de l'ordre de 200 microns). Une calibration initiale est réalisée à

l'aide d'un logiciel d'aérotriangulation dans lequel les inconnues sont laissées « flottantes ». Un ajustement des paramètres est ensuite effectué par les mesures de 3 points sur le terrain et sur les clichés. Donc la méthode pour la détermination des paramètres de calibration consiste à cheminer en sens inverse d'une restitution classique. En sortie, outre une calibration fine, le processus fournit également les paramètres d'orientation associés aux prises de vue.

Ensuite, il faut positionner les caméras par rapport à la station inertielle. C'est la *calibration externe*. Pour ce faire, lorsque le système est à l'arrêt, une station totale est utilisée pour donner les positions dans un référentiel indépendant de celui de la station inertielle. La transformation requise pour passer du système local, au système utilisateur, est réalisée grâce aux paramètres d'orientation de l'IMU.

À ce moment, lors de chaque prise de vue, la position spatiale de chaque caméra est connue par simple translation des coordonnées de la station inertielle. Afin de pouvoir effectuer des mesures photogrammétriques, il faut encore déterminer l'orientation des axes optiques au même moment. Celle-ci est définie, en photogrammétrie, par les angles Omega, Phi et Kappa qui sont respectivement les rotations autour des axes X, Y et Z de la caméra en photogrammétrie aérienne, et autour des axes X, Z et

Tableau 5. Calibration externe

Positions des caméras dans le système IMU (m)		
Caméra 1		
1,415	0,507	1,874
Caméra 2		
1,111	0,893	1,882
Caméra 3		
0,138	0,904	1,888
Caméra 4		
-0,201	0,564	1,881

Y en photogrammétrie terrestre (fig. 7).

Il s'agit d'une différence très importante qu'il faut souligner. En effet, dans le premier cas, la similitude entre le modèle et le terrain se fait par rapport à l'axe Z correspondant à l'axe optique. Dans le second cas, par contre la similitude se réalise toujours selon l'axe Z, mais qui cette fois ne correspond plus à l'axe optique. Ceci a pour conséquence l'apparition de difficultés supplémentaires, telles que l'inadaptation de certains logiciels.

La station inertielle nous fournit quant à elle des informations angulaires relatives à l'orientation spatiale et l'attitude du véhicule, et non de l'axe optique. Son système de référence présente l'axe Y dans le sens d'avancement du véhicule, X latéralement et vers la droite, et Z vers le haut. Les rotations selon X et Y suivent la règle du tire-bouchon, pour connaître l'orientation des angles. En ce qui concerne l'azimut, il est mesuré comme un gisement topographique (fig. 8).

Il faut donc établir les relations pour passer directement des données angulaires du système IMU aux valeurs de Omega, Phi et Kappa du système des caméras. La calibration a fourni les orientations des axes optiques. Disposant de ces données et de celles relatives à la station inertielle au même moment, la transformation peut être isolée.

Pour chaque caméra, une relation peut être définie graphiquement. Par exemple, pour la caméra droite, on peut écrire :

$$\text{Phi} = -(\text{Azimut} + 100 \text{ gons}) + e$$

Les légers écarts e qui subsistent lors de la comparaison s'expliquent par d'éventuelles imperfections de placement des caméras.

En ce qui concerne les deux autres rotations, la transformation est déterminée mathématiquement à l'aide de matrices de rotation autour des axes qui se correspondent. Dès lors, nous disposons des positions des points de vue et de l'orientation des axes optiques. Il reste ensuite à restituer.

C. Traitements des données

La création d'un couple photogrammétrique pour une caméra latérale nécessite de prendre deux clichés successifs d'une même caméra, alors qu'en ce qui concerne les caméras frontales, elles travaillent en parfaite synchronisation (fig. 10).

Deux modes opératoires différents sont à disposition de l'opérateur pour la restitution. Soit par pointé sur les deux clichés d'un couple photogrammétrique à l'aide du logiciel TRIDENT 3D Analyst (GEO-3D, 2005), ou par numérisation sur un modèle stéréoscopique généré par Leica Photogrammetry Suite (LEICA-GEOSYSTEMS, 2005), sur une station de restitution spécifique. Dans les deux cas, les mesures sont réalisées par détermination des intersections de deux faisceaux lumineux. La seconde méthode de restitution fait appel à la visualisation d'un modèle en relief. Cette technique, moins aisée en photogrammétrie terrestre, est néanmoins intéressante car le pointé est plus précis et la garantie de prendre le même point sur les deux clichés est plus élevée. Il est à noter que le traitement d'un couple ne dure que quelques minutes, car peu d'éléments sont à digitaliser.

D. Quelques chiffres significatifs

En considérant une prise de vue tous les 3 m, plus de 33.000 clichés par caméra sont réalisés pour couvrir 100 km de voirie. En considérant une taille d'image de 0,5 MO, l'ensemble des 4 caméras réclame un espace disque d'environ 70 GO.

Quelques calculs réalisés indépendamment de tout logiciel permettent dès à présent de donner un aperçu des précisions auxquelles le système peut aboutir, sur base des orientations issues de la calibration (tableau 6). Les échantillons sur lesquels nous avons réalisé ces tests ne sont pas réellement significatifs, mais nous permettent néanmoins d'être optimistes pour l'avenir.

Tableau 6. Premiers résultats

Éloignement	Écart-type selon X (m)	Écart-type selon Y (m)	Écart-type selon Z (m)
De 7 à 10 m	0,007	0,027	0,014
<i>2,5 x écart-type</i>	0,018	0,068	0,035
De 10 à 20 m	0,044	0,037	0,051
<i>2,5 x écart-type</i>	0,110	0,093	0,127

E. Configuration en phase de production

1. Inclinaison

Afin d'obtenir des précisions supérieures, il est préférable d'observer des éléments remarquables à faible éloignement. C'est pourquoi l'inclinaison des caméras s'impose naturellement. Diverses contraintes sont à prendre en compte pour déterminer cette inclinaison. En

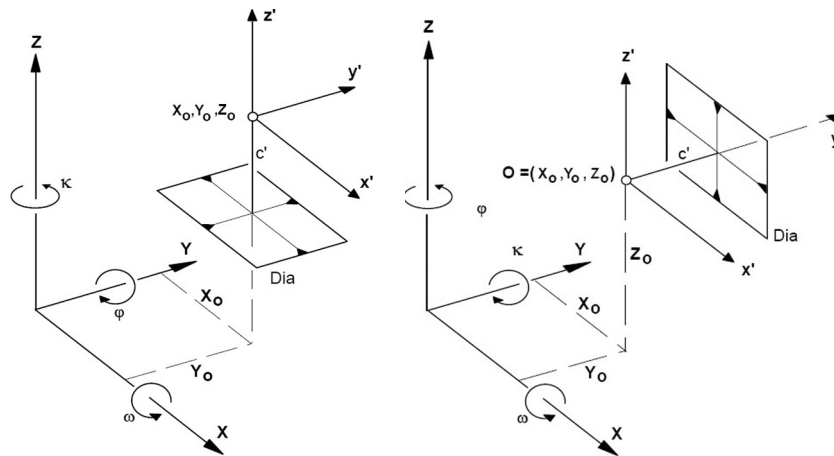


Figure 7. Orientation des axes (a) en photogrammétrie aérienne – (b) en photogrammétrie terrestre (Kruck, 2003, p.7)

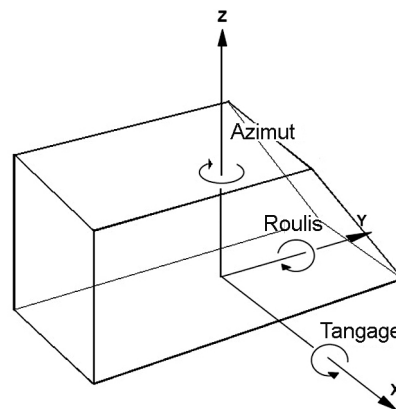


Figure 8. Système de référence lié à la station inertielle

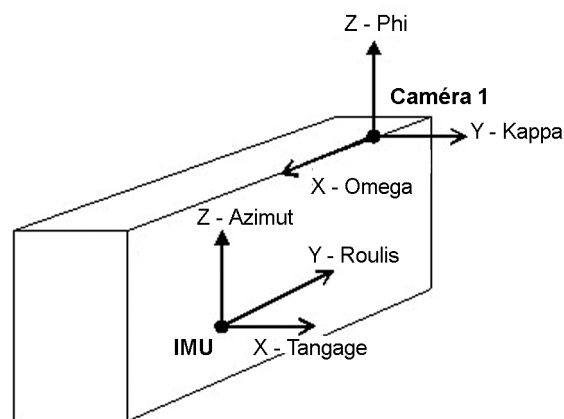


Figure 9. Position et orientation relative

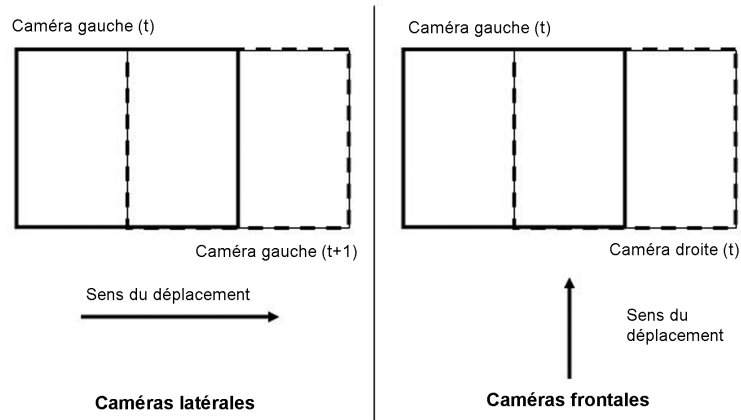


Figure 10. Création d'un couple photogrammétrique avec les caméras latérales et frontales

effet, un recouvrement suffisant entre clichés successifs est nécessaire au travail stéréo-photogrammétrique. Or, en inclinant les caméras, le recouvrement diminue (fig. 11). Il faut donc réduire la distance entre prises de vue successives. Par ailleurs, plus on est proche de la caméra plus l'effet de filé risque d'être important. Il faut par conséquent adapter la vitesse de prise de vue et le temps de pose pour en limiter l'effet.

Les quatre caméras doivent être agencées de manière à se compléter l'une l'autre. Les caméras frontales couvrent une majorité de l'espace de travail, mais il faut se souvenir que la précision se dégrade avec l'éloignement. Des calculs théoriques sur les champs couverts et la taille des pixels au sol indiquent que, dans l'application de mise à jour du P.I.C.C., il est préférable de ne pas utiliser les données situées à plus de 12 m d'éloignement. En effet, à cette distance un pixel de l'image correspond à 12 cm.

Il a été convenu de positionner les caméras frontales de manière à couvrir le sol dès 4 m d'éloignement. Dans cette configuration, seule la moitié inférieure de l'image est alors utilisable en grande précision. La couverture des frontales dans cette zone de l'image permet de mesurer des points jusqu'à 4 m à gauche et à droite du véhicule. Les caméras latérales seront donc réglées pour prendre le relais de celles-ci, tout en conservant un recouvrement de sécurité (fig. 12). Actuellement, un recouvrement latéral/frontal de plus ou moins 2 m a été retenu, avec une vue des caméras latérales débutant à 2 m du véhicule. À la suite de ces modifications dans le positionnement des caméras, la calibration externe (positions relatives des divers éléments) doit être revue.

2. GPS

Étant donné les contraintes de précision dont nous sommes tributaires, nous avons jugé utile de remplacer le GPS différentiel d'origine (DGPS) par la technologie RTK utilisant le réseau WALCORS en vue d'obtenir un

positionnement centimétrique en temps réel.

IV. AVANTAGES ET CONTRAINTES

Les avantages d'un tel système sont nombreux.

- Le temps de travail sur le terrain est considérablement réduit. L'utilisation de ce système ne requiert la présence que de deux personnes (un chauffeur et un opérateur qui gère les prises de vue). Ces deux avantages entraînent un moindre coût de mission.
- De plus, la sécurité des opérateurs est accrue puisqu'ils ne sont plus « usagers faibles ».
- Outre les avantages sur le terrain, le système d'acquisition mobile peut servir à de multiples applications (cf. supra) qui ne nécessitent pas toutes la même configuration (nombre de caméras, fréquence des clichés, précision recherchée, etc.). Une fois les spécifications de la mission connues, l'opérateur peut rapidement agencer le système pour un rendement optimal. La solution offerte est flexible et entièrement adaptable à la demande.
- De retour de mission, les données sont stockées sous format numérique, et peuvent être facilement dupliquées, transmises aux utilisateurs finaux, mais également servir à d'autres fins.

Quelques contraintes limitent cependant l'utilisation de cette méthode.

- Tout d'abord, afin d'obtenir des images de qualité (pas trop sur- ou sous-exposées), il est préférable d'éviter des conditions d'ensoleillement trop important ou de temps trop sombre. Divers réglages concernant la luminosité sont possibles, mais il faut garder à l'esprit que le véhicule est en mouvement et que par conséquent, selon son orientation, l'exposition change continuellement.
- À cela s'ajoutent les inconvénients inhérents au GPS : perte de signal dans des rues étroites bordées de hauts bâtiments, végétation, tunnels, ponts, etc.
- La circulation routière sur les lieux de la mission est également une contrainte importante car elle crée des

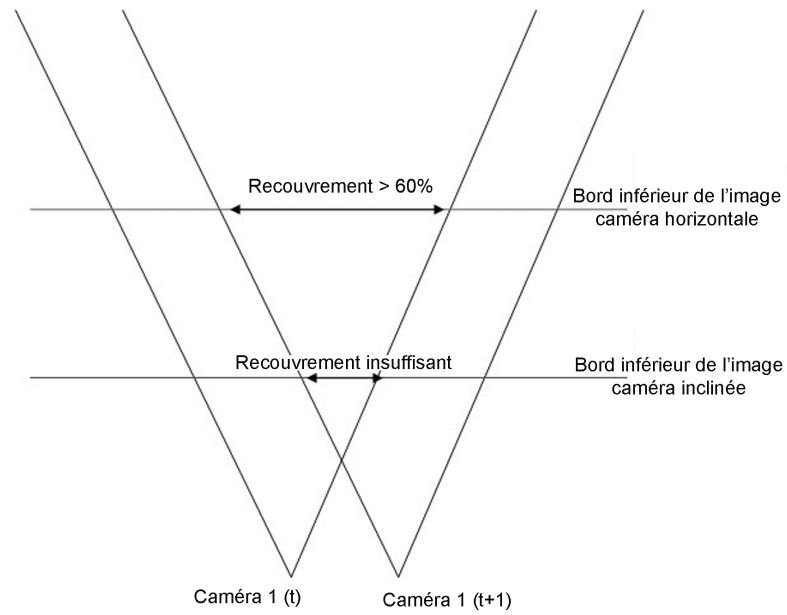


Figure 11. Recouvrement en configurations horizontale et inclinée

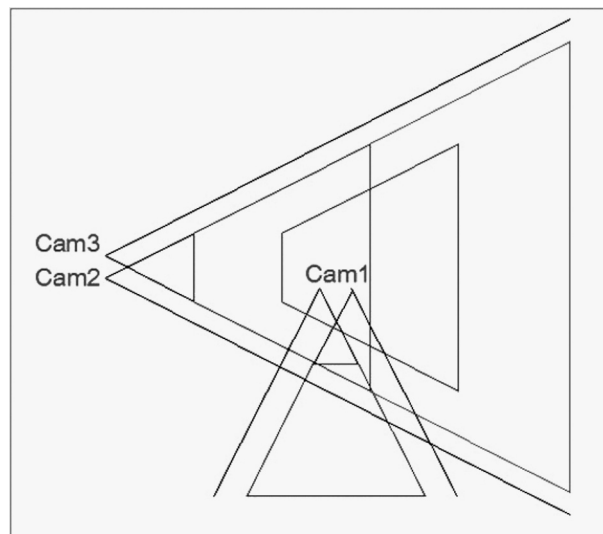


Figure 12. Vue en plan de l'emprise des caméras. Cam1: caméra droite – Cam2 et Cam3 : caméras frontales (la caméra gauche Cam4 n'est pas représentée)

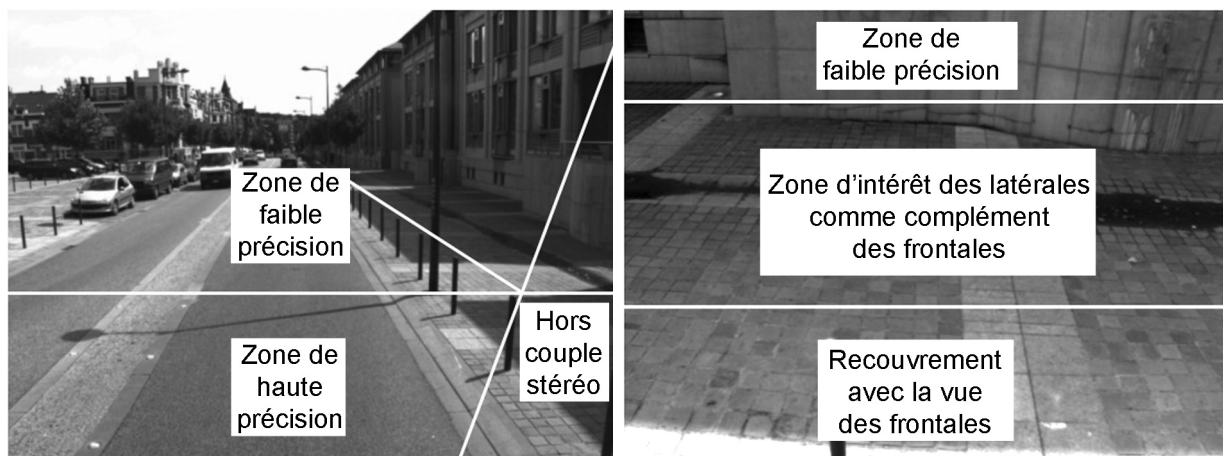


Figure 13. Illustration des zones de précision (a) sur un cliché frontal – (b) sur un cliché latéral

masques sur les images, qui peuvent cacher des éléments tels que avaloirs, taques, impétrants, etc.

- Précisons que cette méthode de levé n'est applicable qu'aux éléments visibles de la voirie car il n'est pas possible de déterminer le contour de maisons ou le parcellaire, par exemple, avec les précisions requises.

V. CONCLUSION

Le système d'acquisition mobile est un outil novateur dans le domaine de la cartographie assistée par ordinateur. Équipé de la technologie RTK et de caméras haute résolution, il permet le positionnement précis d'éléments situés dans son voisinage direct. Il offre une réponse rapide et efficace, adaptable à de nombreuses applications. Le véhicule est dès à présent opérationnel pour les travaux nécessitant une précision métrique.

Dans le cadre de la mise à jour de son Projet Informatique de Cartographie Continue (P.I.C.C.), la DTC du MET poursuit le développement de la calibration du système global afin d'atteindre la précision souhaitée. Pour réaliser une telle calibration fine des instruments, il est nécessaire de réaliser un système de calibration basé sur une grille de référence, afin de corriger les fortes distorsions observées. Ces travaux sont en cours et devraient être menés à terme dans le courant 2006.

BIBLIOGRAPHIE

- ABUHADROUS, I., 2005. *Système embarqué temps réel de localisation et de modélisation 3D par fusion multi-capteur*. Thèse de doctorat, École des mines de Paris, 228 p. Inédit.
- COLLIGNON, A., 2002. *Photogrammétrie*. Notes de cours, Université de Liège, Faculté des Sciences, Unité de Géomatique, 200 p. Inédit.
- DEJARDIN, J.-P., 2003. *WALCORS - Réseau permanent de stations GPS de référence*. Ministère de l'Équipe-

ment et des Transports, Direction de la Topographie et de la Cartographie (<http://gps.wallonie.be/>).

GEO-3D, 2005. *Téléométrie mobile TRIDENT-3D* (<http://www.geo-3d.com/services/t3d-f.html>).

KRUCK, E. J., 2003. *BINGO Bundle Adjustment for Engineering Applications Version 5.0*. Gesellschaft für Industriephotogrammetrie, Aalen, 142 p.

LEICA-GEOSYSTEMS, 2005. *Leica Photogrammetry Suite, version 8.7, service pack 3*. (<http://gi.leica-geo-systems.com/LGISub1x12x0.aspx>).

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS, 2002. *Le fond de plan cartographique à grande échelle de la Région wallonne* (http://internet.win.be/rainbow/d432/ART_PICC_06_2002_b.pdf).

RÉGION WALLONNE, 2004. *Portail cartographique de la Région Wallonne* (<http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/index.jsp>).

SODIPLAN, 2006. *Sodiplan créateur de solution*. (<http://www.sodiplan.be/index2.php>).

Adresses des auteurs :

Anne-Sophie COLLIGNON
et Bruno PLOUVIER
Unité de Géomatique
Université de Liège
17, Allée du 6 Août (B5)
B-4000 Liège

Anne-Sophie.Collignon@ulg.ac.be
B.Plouvier@ulg.ac.be

Albert COLLIGNON
Ministère de l'Équipement et
des Transports (MET) - D432
Boulevard du Nord, 8
B-5000 Namur
acollignon@met.wallonie.be