

## LA MESURE TRIDIMENSIONNELLE PAR MÉTHODES OPTIQUES

### APPLICATIONS ET CONTRAINTES DU TRAITEMENT DES DONNÉES PAR LA MÉTHODE DE COMPENSATION DE FAISCEAUX EN PHOTOGRAMMÉTRIE ET TOPOMÉTRIE

par Anne Legac, Arnaud Dumont, (Espace Industrie Contrôles ESIC)

Comment restituer les caractéristiques tridimensionnelles d'un objet par mesures sans contact ? Comment, de plus, obtenir une bonne précision dans l'application de la mesure tridimensionnelle par méthode optique sur des objets de grande dimension ?

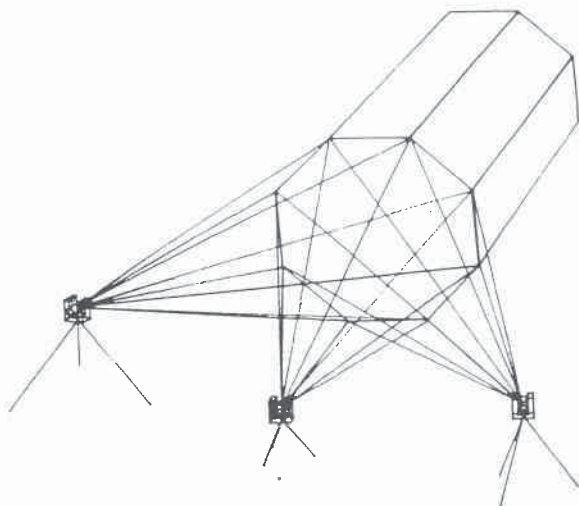
A l'origine, issu de la photogrammétrie au début du siècle, le principe de traitement des données par compensation de faisceaux est utilisé aujourd'hui non seulement en photogrammétrie mais aussi en mesure par théodolites.

#### 1 - PRINCIPES

La méthode de traitement des données par la compensation de faisceaux est une suite itérative de calcul de triangulation des points mesurés et de relèvement des stations d'observation jusqu'à un stade appelé convergence qui peut être déterminé soit par la valeur des résidus sur les inconnues, soit par la différence sur la valeur de ces résidus entre deux itérations successives.

Le principe de calcul par compensation de faisceaux s'applique aussi bien aux mesures par théodolites qu'aux mesures par photogrammétrie.

Fig. 1



Dans le premier cas, les données d'acquisition sont des données angulaires correspondant à la visée de points donnés à partir des différentes situations (fig.1). Dans le deuxième cas, les données de départ sont les coordonnées image de l'impact des points recherchés, sur un plan film lors des prises de vues (fig. 2).

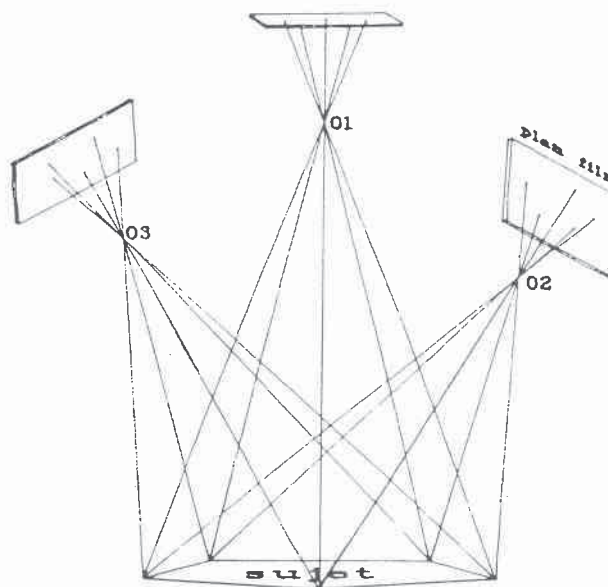


Fig. 2

Les schémas suivants donnent une bonne représentation visuelle de la notion de faisceaux depuis les stations et pour les deux méthodes utilisées.

Les caractéristiques de cette méthode de traitement des données reposent sur deux principes :

1/ l'ensemble des variables est considéré comme inconnu, aussi bien :

- les points recherchés,
- les positions des stations,
- les paramètres internes exacts des chambres de prise de vues dans le cas de la photogrammétrie,

seules les données d'acquisition, à savoir angles de visée ou position d'un point sur un plan

film, sont considérées comme étant les données de base.

2/ à partir de données approchées des positions des stations, toutes les données de départ sont prises en compte en bloc (angle et/ou coordonnées image) (fig. 3),

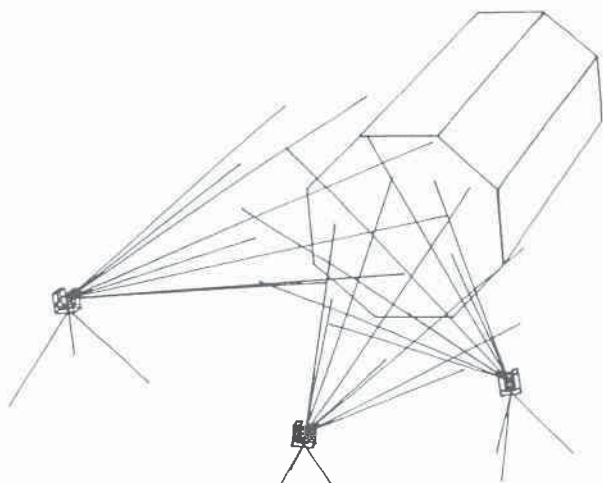


Fig. 3

pour se lancer dans une série d'itérations cherchant à améliorer l'ensemble des résidus pour toutes les inconnues (fig. 4).

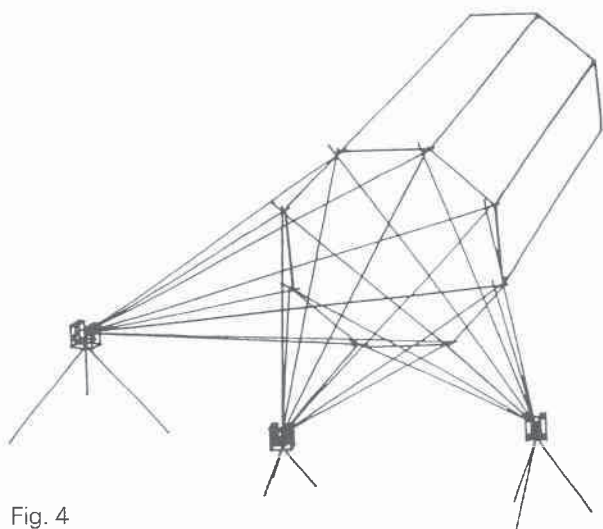


Fig. 4

Le calcul a pour but d'accéder à un stade appelé convergence correspondant à la solution optimum pour l'ensemble des inconnues (fig. 5).

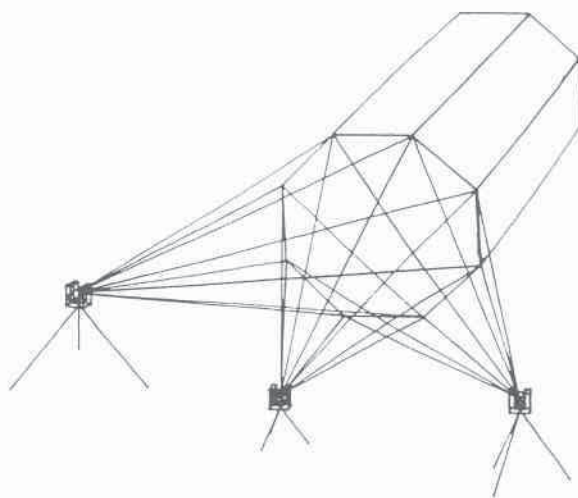


Fig. 5

Cette méthode de calcul est basée sur la redondance des informations.

Voyons à présent quels sont les avantages et les inconvénients de cette méthode ;

## Avantages :

1/ Le traitement des données par compensation de faisceaux est avant tout très précis de par le principe même de son calcul. En effet :

- la redondance des informations permet d'avoir beaucoup plus d'informations par inconnues que la théorie n'en demande d'où :

- la possibilité de rejeter certaines données a priori entachées d'une erreur,
- la fiabilité du calcul.

- l'ajustement au mieux de l'ensemble des inconnues permet d'obtenir une grande homogénéité de l'ensemble des résultats.

2/ Un autre avantage réside dans la possibilité de réaliser des mesures hybrides. En effet, c'est le même principe de calcul qui gère des informations venant de théodolites comme des informations venant de caméras. Nous verrons plus loin des exemples d'application.

3/ Enfin, l'ensemble du traitement n'étant basé que sur du calcul, cette méthode présente la possibilité de réaliser la simulation numérique d'une opération. On simule donc quelques points de l'objet à mesurer et des stations de mesure. Ensuite, à partir des données angulaires obtenues par cette configuration, il est alors possible de

lancer un calcul permettant d'obtenir une estimation de l'incertitude de mesure qui sera obtenue dans cette configuration de mesure.

## Inconvénients :

Le principe de calcul traitant toutes les informations en bloc, le calcul ne pourra être lancé qu'une fois l'ensemble des données acquises. De ce fait, les résultats ne pourront être obtenus qu'en temps différé.

Cependant, la naissance de nouveaux systèmes alliant compensation de faisceaux et intersection spatiale permet de bénéficier du meilleur relèvement des stations par la méthode de compensation de faisceaux pour ensuite trianguler des points nouveaux par intersections spatiales en temps réel.

## 2 - APPLICATIONS

Quand utilise-t-on le traitement des données par la méthode de compensation de faisceaux ?

Tout d'abord, quelle que soit la technique utilisée, théodolites ou photogrammétrie, la compensation de faisceaux est nécessaire lorsqu'on a besoin de grandes précisions.

### Théodolites :

Lorsque l'on travaille par théodolites et que l'environnement nous empêche de réaliser une visée entre théodolites (imposée par la méthode de première génération d'intersection spatiale) la méthode par compensation de faisceaux permet de s'en affranchir.

D'autre part, lorsqu'il est nécessaire d'avoir les résultats sur le terrain (ceci par opposition avec la photogrammétrie).

### Photogrammétrie :

La compensation de faisceaux utilisée en photogrammétrie est tout d'abord utilisée lorsque l'environnement industriel ne permet pas la mise en œuvre de théodolites (sol instable, prise de vues en hauteur, vibration, etc).

Ensuite, la compensation de faisceaux permettant d'obtenir des précisions extrêmes, la mise en œuvre de la photogrammétrie permet de garder une certaine cohérence quant à l'intervention de facteurs extérieurs (température, etc) entre les précisions possibles par la méthode et le temps d'acquisition.

Enfin, la photogrammétrie permettra de réaliser

des mesures en dynamique avec une bonne précision. Ceci en déclenchant en synchrone plusieurs caméras réparties d'une manière convergente par rapport à l'objet.

## Mesures hybrides :

Une dernière application peut être la réalisation de mesures hybrides qui permet la mise en œuvre de théodolites et de caméras. Ce principe peut être judicieusement utilisé quand certaines parties d'un objet à mesurer sont inaccessibles aux théodolites, ou lorsque certaines zones d'un objet doivent être couvertes avec beaucoup plus de points dans le but de mieux déterminer certaines formes.

## 3 - CONTRAINTES

### DANS LA MISE EN ŒUVRE

### 3.1 Valeurs approchées

Un calcul itératif a besoin d'initialiser certaines de ses inconnues avec des valeurs approchées. Dans notre cas, la position des stations et la position de quelques points doivent être renseignées.

Diverses solutions sont possibles :

Tout d'abord, on peut se servir de valeurs théoriques si on en dispose.

Pour la photogrammétrie, la détermination de ces valeurs par relevé approximatif in situ est suffisant.

En mesure par théodolites, il est judicieux de calculer par intersection spatiale quelques points moyennant des orientations approchées des stations.

Par la suite, si un grand nombre de stations sont mises en œuvre, un traitement partiel des données sur quelques stations et quelques points, peut générer un fichier de valeurs approchées permettant d'accélérer le calcul pour les autres stations.

### 3.2 Configuration géométrique

Un certain nombre de contraintes intervient également pour obtenir de bonnes configurations géométriques.

De bonnes intersections sur les points sont de fait primordiales pour obtenir une bonne détermination des points (intersection optimale aux environs des 90°). De plus, la qualité du relèvement des stations est directement fonction de la bonne répartition des faisceaux depuis les stations.

C'est pourquoi, les mesures par théodolites vont être optimisées en variant les éloignements par rapport à l'objet tout en conservant des distances homogènes, ou en changeant les hauteurs d'appareils.

En photogrammétrie, la configuration géométrique va pouvoir être grandement améliorée par la facilité de réaliser des prises de vues en hauteur ou depuis un support éventuellement instable.

### 3.3 Mise à l'échelle

Enfin, la dernière contrainte concerne la qualité de la mise en œuvre pour obtenir une bonne mise à l'échelle du modèle.

Le principal souci réside dans la recherche de l'homogénéité d'acquisition entre l'étalon de longueur et le modèle observé.

Pour cela, il est important de disposer d'un étalon de longueur cohérent par rapport à l'objet

à mesurer et de le positionner «dans l'objet».

Ensuite, il est nécessaire que l'étalon soit visé autant de fois que les points de l'objet afin d'avoir un étalon de longueur aussi bien déterminé que les points.

Le dernier souci a trait à la stabilité de l'étalon de longueur pendant toute la durée de la mesure, impliquant parfois, dans le cas de mesure par théodolites, la mise en station du maximum de théodolites pour assurer des visées en quasi simultanée.

## 4 - RÉALISATION

Les réalisations en compensation de faisceaux sont nombreuses depuis les mesures de précision sur des gabarits, jusqu'au contrôle du grand Radiotélescope de Nancay en passant par des réalisations en construction navale dans l'aéronautique ou la construction ferroviaire.

*NDLR. Voir la revue XYZ n° 11 de juin 1982, page 41. Article de Robert Vincent, « Topométrie spatiale à courte distance ».*



Chez LEICA, le petit dernier né d'une grande lignée : le LNA 20.

L'utilisation des niveaux électroniques à laser sur les chantiers de bâtiment permettent une amélioration considérable de la productivité : un seul homme peut effectuer les mesures, le niveau électronique donnant en permanence un plan de référence.

Après le lancement de son premier niveau électronique à laser il y a 4 ans, connu sous le nom LNA2, Leica lance aujourd'hui un niveau électronique "spécial bâtiment" conçu tout particulièrement pour le bâtiment avec une portée moins importante que celle du LNA2L. Portée du LNA2L : 450 m. Portée du LNA20 : 120 m.

Le LNA20 est construit selon des techniques de fabrication tout à fait nouvelles qui permettent de réduire le coût de l'instrument tout en conservant une grande qualité de fabrication et de précision chère à Leica et à un prix attractif.

Le LNA20 ne peut pas renier ses origines. Sa conception rappelle celle du LNA2L conçu comme un instrument universel sur lequel on peut adapter de nombreux accessoires. Le LNA20 peut ainsi intégrer un plan incliné permettant de travailler sur des terrains en déclivité de 0 à 2 %.

Le LNA20 sera exposé à BATIMAT 91 sur le stand Leica/Topocenter Hall 8 - Allée B - Stand 27.  
Contact au 47 32 92 13. Fax : 47 32 41 65.