

# PHOTOGRAMMÉTRIE INDUSTRIELLE

## MÉTROLOGIE DYNAMIQUE

*Hervé DEHEINZELIN,  
Société d'Études et de Travaux Photogrammétriques,  
Salon de Provence*

S'il est possible de saisir, à partir de deux ou plusieurs points de vue différents, les images photographiques d'un objet, celui-ci peut être reconstitué dans un système tridimensionnel par des moyens optiques (stéréoscopie) ou numériques.

Ce principe a été utilisé tout d'abord avec la photogrammétrie aérienne à des fins cartographiques, topographiques. Puis, depuis quelques années et surtout grâce à l'essor et la vulgarisation des moyens électroniques et de calculs, la photogrammétrie a pu entrer dans la catégorie des méthodes de mesures industrielles. Nous présentons ici la photogrammétrie industrielle (ou rapprochée) puis une de ses applications particulières concernant l'étude de corps mobile (dynamique).

La photogrammétrie industrielle s'applique à des objets de dimension restreinte. Méthode de mesure sans contact, elle a l'avantage de pouvoir intervenir dans des conditions peu propices à des procédés de mesure courants.

- Environnement nuisible à l'homme (radio-activité, chaleur intense)
- Milieu rendant difficile la mesure directe (milieu sous-marin).
- Objet à mesurer en mouvement (ceci fera l'objet du dernier chapitre).

La photogrammétrie n'est pas une technique de mesure en temps réel mais elle a deux grands avanta-

ges. D'une part, elle ne nécessite qu'une mobilisation très courte de l'objet à mesurer, d'autre part elle autorise l'obtention de résultats ponctuels (détermination de la position spatiale d'un point) ou globaux (numérisation ou report graphique en continu de lignes quelconques).

Son insertion dans la catégorie des mesures industrielles a pour origine l'utilisation des moyens de calcul électronique qui permettent d'une part de faciliter les opérations de prises de vues, d'autre part d'obtenir des résultats d'une précision intéressante pour les demandeurs, souvent exigeants, que sont les contrôleurs industriels.

Les premiers appareils de restitution photogrammétrique ont été les restituteurs analogiques. Ils permettent la reconstitution, par des moyens mécaniques, de la position spatiale relative des clichés photographiques au moment de la prise de vue. L'observation se fait alors en mode stéréoscopique. Ce type d'appareil qui a rendu et rend encore de grands services en cartographie a le désavantage de créer des contraintes en ce qui concerne la prise de vue (contraintes sur les focales, sur les caractéristiques du montage de prise de vues : convergence des axes optiques).

De plus, la résolution du système de mesure à l'échelle du cliché n'est au maximum que de l'ordre du 100<sup>e</sup> de mm.

L'utilisation de moyens électroniques s'est faite en deux temps. Tout d'abord, des dispositifs de saisie et des calculateurs ont été mis en série avec des monts ou stéréocomparateurs. Les orientations relatives et absolues peuvent alors être calculées par optimisation, alors que sur les appareils de type analogique, ces opérations sont réalisées "manuellement". Les contraintes mécaniques n'existant plus, il n'y a plus d'interdits pour la prise de vue. Cependant ce procédé ne permet pas le suivi en continu (suivi de courbes de niveau...) tel qu'il peut être fait sur un appareil analogique.

Cette lacune est comblée maintenant avec les appareils dits stéréorestituteurs analytiques. Le modèle est observé en stéréoscopie. Les paramètres d'orientations relatives et absolues sont insérés dans un "opérateur" prenant aussi en compte, à tout instant, les distorsions des objectifs. Une fois le modèle formé, en tout point visé, l'observateur dispose en temps réel des coordonnées du point dans le système tridimensionnel de son choix. De tels appareils, allient donc les avantages des appareils analogiques à ceux des calculateurs.

Reste à préciser la qualité des résultats obtenus. La photogrammétrie est une technique dont la précision est tributaire de facteurs nombreux : caractéristiques de la prise de vue, étalonnage et résolution des instruments de prise de vue et de restitution, méthodes de calcul utilisées, qualité des photographies (support et émulsion).

Comme tout instrument de mesure, la chambre de prise de vue doit être étalonnée régulièrement, ceci d'autant plus qu'elle est souvent déplacée. L'étalonnage en donne la distance principale et la distribution de la distorsion.

L'appareil de restitution, lui aussi, fait l'objet de calibrations fréquentes. Celles-ci sont effectuées à partir d'observations de réseaux. En ce qui concerne la précision intrinsèque de l'appareil, dans le cas d'un stéréorestituteur analytique, on peut admettre que tout point d'un cliché peut être numérisé dans un système lié au cliché avec une dispersion de l'ordre de 4 microns (résultat consécutif à un test avec mesure référence suivi d'une méthode d'interférométrie-laser).

Les méthodes de calcul interviennent à tous les stades du dépouillement : correction de la distorsion, de la déformation du film, calculs des orientations par optimisation des surabondances. Les deux premiers points sont ceux qui peuvent le plus porter à discussion, en ce sens que les influences locales de la distorsion et de la déformation du film ne sont déterminées que par interpolation donc d'une manière plus ou moins arbitraires. Une amélioration de la qualité des chambres photographiques et des supports d'émulsion pourrait réduire cet inconvénient, dans ce domaine, des progrès restent à faire.

Mais le composant qui a l'importance la plus grande est sans doute le cliché photographique lui-même. L'émulsion peut dériver localement. Ce phé-

nomène est parfois si important qu'il interdit alors totalement la formation optique ou numérique du modèle stéréoscopique.

Il peut se produire aussi une grande différence de qualité entre les images, sur plusieurs clichés, d'un même point ; ce qui risque de gêner le pointé stéréoscopique. Ce défaut porte encore plus à conséquence si le dépouillement est effectué en mode monocomparateur.

Lors de la prise de vue, toutes les précautions doivent être prises pour éviter, au maximum, une perte de précision due aux clichés eux-mêmes (manipulation précautionneuse, étude fine de l'éclairage, stockage des plaques ou films évitant le mieux possible, les déformations du support d'émulsion).

La multiplicité des facteurs et des phénomènes influant sur la précision explique que la photogrammétrie industrielle ne pourra donner de très bons résultats que pour des mesures relatives. Dans des conditions optimales et avec le maximum de précautions, tant à la prise de vue qu'au dépouillement, on peut atteindre une précision relative de  $10^{-4}$ , voire  $5 \times 10^{-5}$ . Ces valeurs s'avèrent très intéressantes lorsqu'on se rappelle que la mesure photogrammétrique est réalisée sans contact avec l'objet.

La "liberté" de l'objet pendant sa mesure fait de la photogrammétrie une technique adaptée à l'étude de mobile (trajectographie, déformations d'un corps en mouvement...). C'est le domaine de la photogrammétrie dynamique.

#### **Photogrammétrie dynamique :**

La méthode photogrammétrique est particulièrement adaptée à l'étude d'objets mobiles. Il suffit de figer, sur des clichés photographiques, l'image de l'objet en des instants préférentiels de son déplacement. L'exploitation se fera d'une manière classique. Les problèmes particuliers à résoudre concernant donc seulement la prise de vue.

Le mouvement d'un objet, de centre de gravité G, peut être caractérisé par :

- la trajectoire de G
- la vitesse de G
- la vitesse angulaire de rotation autour de G.

Dans tous les cas, pour que la photogrammétrie soit applicable, il est nécessaire que la trajectoire soit telle qu'en tout instant le mobile s'inscrive dans la zone commune de deux appareils photographiques. La précision des résultats dépendant de la position relative des deux chambres et de l'objet. La première étude concerne donc la place qu'occuperont les points de vue photographiques, la situation idéale étant celle où la base est parallèle à la trajectoire.

Dans le premier cas, les clichés portent la superposition des images photographiques du mobile en des instants différents (voir photo pale d'hélicoptère). Les points à numériser doivent être éventuellement codés si la nature du mouvement risque d'entraîner des indécisions (des points distincts peuvent avoir des images identiques en des instants différents). Ce procédé interdit l'étude de forme puisque le modèle stéréoscopique observé résulte de la superposition d'image.

Pour la prise de vue proprement dite, deux méthodes sont possibles :

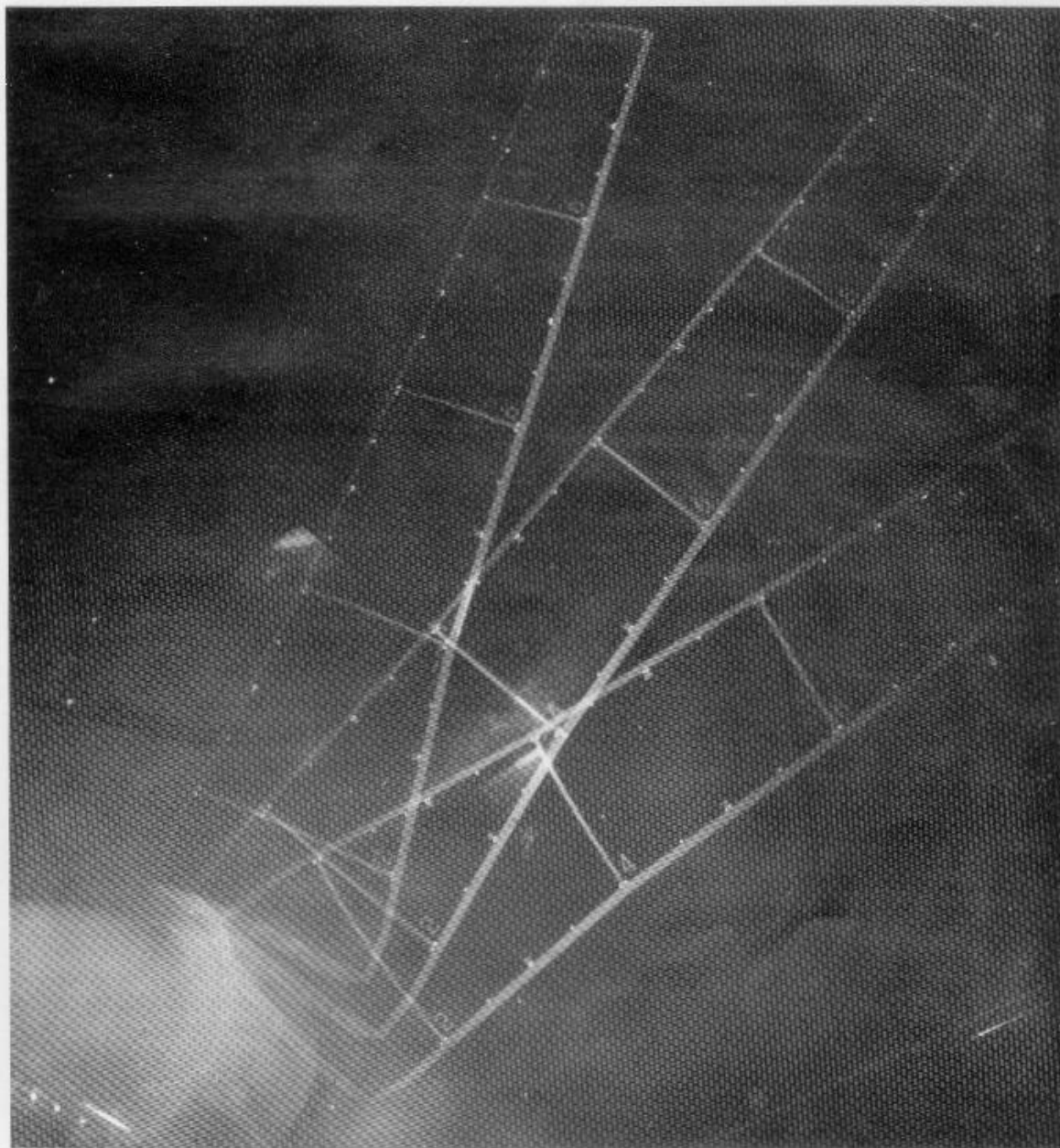
- a) — éclairage stroboscopique du mobile, les objectifs restants ouverts
- b) — éclairage continu du mobile, déclenchement périodique des appareils photographiques.

Autre problème, celui du référentiel. Son image doit être de bonne qualité. Le référentiel restant fixe, par définition, il va être impressionné sur l'émulsion autant de fois qu'il y aura d'éclairs des stroboscopes. Son image sera donc surexposée par rapport aux points du mobile. Cela oblige à des études particulières d'éclairages différentiels.

Cette méthode d'éclairage stroboscopique, si elle paraît facile à mettre en œuvre au prime abord, s'avère poser de nombreux problèmes, le plus important étant celui du référentiel.

Le second procédé (éclairage continu, déclenchement périodique des obturateurs) s'accompagne d'un défilement du film. Dans le cas contraire, on retomberait dans une situation analogue à la précédente. Il faut donc disposer d'un appareillage automatisé : une impulsion électrique générée périodiquement entraîne l'ouverture simultanée des obturateurs et l'avance des films. Dans cette configuration, on dispose d'autant de couples stéréoscopiques que d'impulsions de déclenchement.

*Pale d'hélicoptère photographiée en éclairage stroboscopique.*



Le problème du référentiel, caractéristique de la méthode précédente, ne se pose plus. Il n'y a plus de risque de confusion entre points à numériser et, enfin, le dépouillement pourra permettre des études de surface (coupes, lignes de niveau...).

Le choix entre les deux méthodes se fera en fonction des caractéristiques du mouvement du mobile. Ainsi par exemple si les chambres photographiques sont disposées de telle sorte que la trajectoire ait une direction moyenne perpendiculaire à la prise de vue, seul le second procédé est applicable. Notons que le premier est particulièrement adapté à l'étude d'objet en rotation (roues, hélices, etc...).

Il arrive que la photogrammétrie soit inopérante. C'est le cas où la vitesse de déplacement du mobile rapportée à l'échelle du cliché, est trop rapide. On observe alors l'apparition du phénomène de "filé" bien connu en photogrammétrie aérienne. La solution consiste à réduire le temps de pose au maximum de manière à figer au mieux le mouvement sur l'émulsion. C'est pourquoi, on équipe si possible les points

à définir de cibles réfléchissantes de manière à augmenter la luminance.

La photogrammétrie est de plus en plus souvent sollicitée pour des contrôles dimensionnels dans l'industrie. Certes, il n'est pas question, en l'état actuel de son développement, de la classer dans la catégorie des mesures de haute précision ; des progrès restent à faire, tant au niveau des appareils de prise de vue que de restitution, qui permettraient certainement d'améliorer la valeur des résultats et d'en accélérer l'obtention.

Comme toutes les méthodes de mesure, il faut savoir l'employer à bon escient tout en gardant à l'esprit ses limites.

Les avantages qui lui sont propres sont bien connus : (possibilité de définir des lignes en continu, possibilité de stocker sur les plaques photographiques la "maquette" tridimensionnelle d'un objet...) et en font souvent un outil irremplaçable comme c'est le cas en dynamique. ■