

**LES MESURES TRIDIMENSIONNELLES PAR METHODES HYBRIDES
(PHOTOGRAMMETRIE + THEODOLITE)
THREE-DIMENSIONAL MEASUREMENTS BY HYBRID METHODS
(PHOTOGRAMMETRY AND THEODOLITES)**

Anne LEGAC, Research and Development Manager
Arnaud DUMONT, Production Manager
ESIC FRANCE - Commission V

PURPOSE :

The potential of hybrid method measurements is often underdeveloped. However, certain industrial environments regularly lead to the use of this method of acquisition and treatment.

After a brief description of the limits of the instruments and systems that we are using, we propose to detail our work on the hybrid methods, to describe their conditions of their implementation, the limits and precautions of their use.

Finally, we will present a few examples of applications realized with hybrid methods during these last two years.

RESUME :

Les potentialités des mesures par méthodes hybrides sont trop souvent peu développées. Pourtant, certains environnements industriels conduisent régulièrement à mettre en oeuvre cette méthode d'acquisition et de traitement.

Suite à une description des limites des instruments et des systèmes que nous utilisons nous nous proposons d'exposer notre démarche vers les méthodes hybrides, de décrire leur mise en oeuvre, les limites et les précautions de leur utilisation.

Enfin, pour terminer, nous présenterons quelques exemples d'applications réalisées par méthode hybride au cours de ces deux dernières années.

KEY WORDS : Close Range, Industrial, threedimensional, photogrammetry, theodolites, CAD CAM.

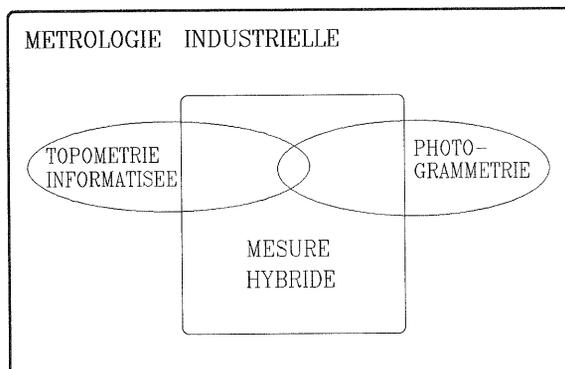
MOTS CLES : Courte distance, Industrielle, tridimensionnelle, photogrammétrie, théodolites, CAO DAO.

1. INTRODUCTION

Dans le domaine de la métrologie industrielle, la spécificité de chacune des mesures à réaliser, la complexité de l'environnement ne permettent pas toujours d'avoir une bonne adéquation avec les systèmes existants de mesure par topométrie informatisée ou par photogrammétrie. En effet, bien que ces systèmes de mesures par méthodes optiques aient rapidement mis en évidence leurs avantages, liés principalement à leur mobilité, leur capacité, la fiabilité et la qualité de leurs résultats, il montrent néanmoins certaines limites. C'est pourquoi, notre volonté en tant que prestataires de services de satisfaire de manière optimale les besoins de nos clients, nous ont poussés à réfléchir sur ce que nous appelons des mesures par méthodes hybrides (mélange de techniques telles que photogrammétrie et topométrie informatisée), puis et surtout à les mettre en oeuvre.

Ces mesures par méthodes hybrides permettent d'optimiser la réponse aux problèmes de nombreux industriels, tout en élargissant le champ d'application des techniques mises en oeuvre séparément. Elles se révèlent être ainsi un élément clé dans l'ouverture du marché de la métrologie industrielle par méthodes sans contact.

Exemples de champ d'application de différents moyens de mesure sans contact.



Le schéma ci-dessus exprime cette extension vers des marchés nouveaux grâce aux mesures par méthodes hybrides : les possibilités des mesures hybrides sont au-delà du champ d'application des systèmes monotecniques.

Nous allons donc vous faire part des réflexions et de l'expérience d'ESIC dans le domaine des mesures hybrides par photogrammétrie et topométrie informatisée, avec lesquelles nous avons réalisé de nombreuses prestations. Nous nous efforcerons d'exposer notre point de vue de prestataire de services, utilisateur de systèmes, au contact permanent avec les besoins des industriels. Ainsi, après avoir mis en

évidence certaines limites dans les instruments ou les systèmes que nous utilisons, nous expliciterons notre démarche progressive vers les méthodes hybrides que nous illustrerons par des exemples de réalisation. Enfin, nous concluerons sur les perspectives d'avenir que nous percevons pour ce principe de mesures hybrides.

2. LES LIMITES DE L'EXISTANT

2.1 Limites instrumentales

Chaque instrument d'optique possède un certain nombre de caractéristiques qui en font, selon le problème de métrologie posé, un outil plus ou moins bien adapté.

Le tableau suivant mentionne quelques caractéristiques d'instruments d'acquisition que nous utilisons en métrologie industrielle par méthodes optiques :

		recul minimum	angle d'incidence maximum	champ
THEODOLITES				
WILD T2002		1.7 m	> 65°	. pratiquement illimité.
WILD T3000		0.6 m	> 65°	. limité par le non-bascule- ment de la lunette (+47°/-55°)
KERN E2		1.7 m	> 65°	. pratiquement illimité
CAMERAS				
GS1 CRC1				
	120 mm	1.2 m	65°	88°
	240 mm	2.5 m	65°	51°
GS1 CRC2				
	65 mm	0.6 m	65°	81°
	120 mm	1.0 m	65°	51°
ROLLEI LFC				
	165 mm	2.7 m	65°	88° (d)
ROLLEI 6006				
	40 mm	0.65 m	65°	88° (d)
	80 mm	1.80 m	65°	51° (d)
ROLLEI 3003				
	15 mm	0.25 m	65°	110° (d)

Ce tableau est là pour rappeler que quelque soit l'instrument d'optique utilisé dans ce type de métrologie industrielle, il possède ses limites (principalement le recul pour les théodolites et les angles d'incidence pour les caméras de photogrammétrie).

2.2 Les limites liées aux systèmes

Au delà des limites instrumentales, les systèmes de mesure tridimensionnelle par méthodes optiques sont basés sur des méthodes d'acquisition et de traitement des données qui fixent en partie les limites de leur mise en oeuvre.

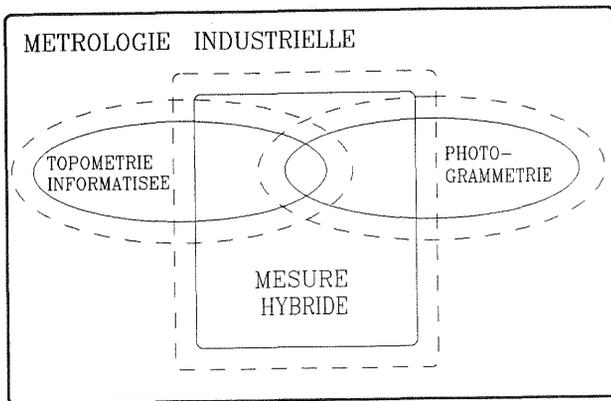
Ainsi, le traitement des données par la méthode de compensation de faisceaux impose un type de configuration géométrique lié entre autre à la qualité des intersections des visées optiques dans l'espace et à la qualité des relèvements des stations d'observations.

On peut également citer l'exemple de systèmes de mesure tridimensionnelle par théodolites nécessitant des visées réciproques et simultanées entre théodolites, condition sine qua non, pas toujours simple à respecter en milieu industriel.

Par ailleurs, lors de la conception et de la mise au point d'un système, le premier objectif est souvent de répondre à un ou des besoins précis, ce qui a pour conséquence directe l'intégration dans la logique même du système d'un certain nombre de contraintes plus ou moins indispensables. Le concepteur et les utilisateurs qui, par la suite, essaieront d'ouvrir ce système à d'autres applications butteront souvent sur ces contraintes là.

Ainsi, si nous reprenons le croquis précédent, sur les possibilités des mesures par théodolites, photogrammétrie et hybrides, on peut y ajouter les notions de concept d'un système (en trait pointillés) qui correspondent aux possibilités théoriques d'un système avant sa conception, et les possibilités réelles d'un système une fois industrialisé (en trait plein).

Exemples de champ d'application de différents moyens de mesure sans contact.



Ainsi, il apparait clairement que devant des problèmes de métrologie industrielle, un seul instrument, un seul système ne répondent pas toujours à toutes les configurations.

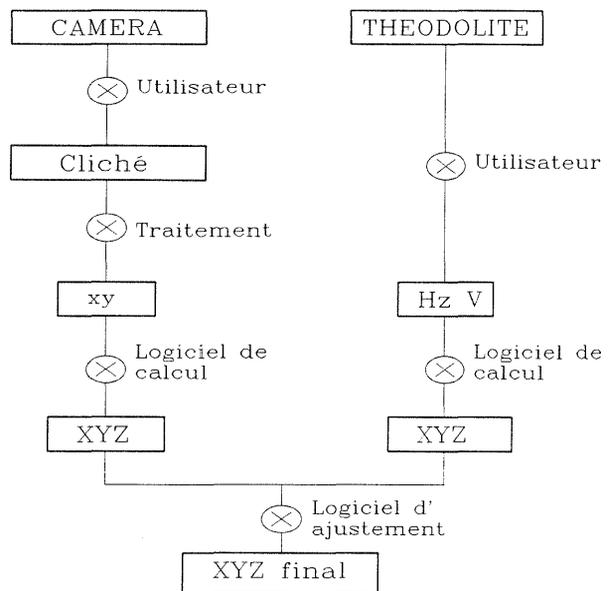
3. DEMARCHE HYBRIDE

Pour tenter de dépasser les limites mentionnées ci-dessus, et de répondre à des besoins précis d'industriels nous avons donc entamé une réflexion vers les mesures hybrides.

3.1 Mixer les systèmes

La première étape dans la mise en oeuvre de méthodes hybrides consiste à utiliser plusieurs systèmes en parallèle. L'utilisateur génère ainsi plusieurs fichiers de coordonnées tridimensionnelles issus des mesures réalisées avec chacun de ces systèmes. Ayant pris soin de déterminer un certain nombre de points de mesure commun et bien disposés géométriquement dans l'espace, l'utilisateur ajuste l'ensemble de ces séries de points par la méthode des moindres carrés.

Schéma logique des différentes phases d'une mesure hybride mixant les systèmes.



Par l'utilisation conjointe de plusieurs systèmes, les méthodes hybrides montrent l'étendue de leurs possibilités. Cependant, cette démarche qui consiste à "juxtaper" plusieurs systèmes pose un certain nombre de problèmes sur lesquels on peut s'interroger :

- Comment s'assurer de la cohérence des résultats issus des différents systèmes ?
- Comment qualifier le résultat final ?

L'utilisateur amené à confronter les résultats issus de différents systèmes se base principalement sur les incertitudes de mesure annoncées et sur les éventuels paramètres lui permettant d'évaluer la fiabilité des résultats.

Ce même utilisateur doit porter son attention sur la qualité des ajustements réalisés entre les différentes séries de points : répartition géométrique et détermination des points communs sur lesquels toute la cohérence de l'ajustement se base, résidus après ajustement.

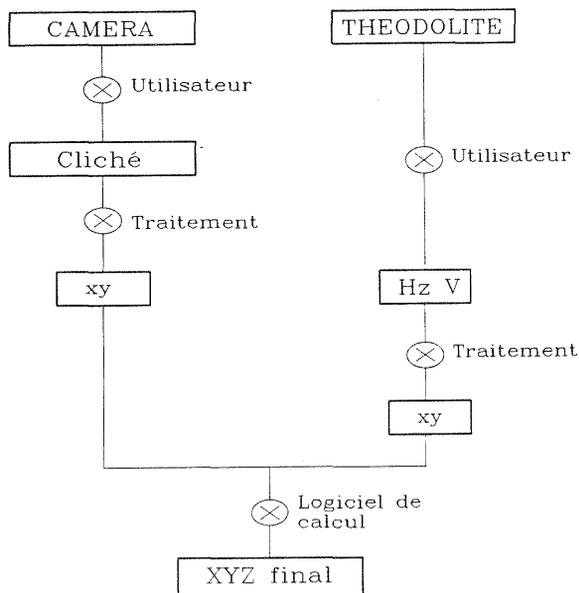
Au bout du compte, le résultat final est de toute façon entaché du cumul d'un nombre important d'erreurs.

3.2 Mixer les instruments

Ces réflexions sont à la base du calcul hybride qui homogénéise l'ensemble des données pour réaliser le traitement dans un seul et même calcul.

Ainsi, les angles horizontaux et verticaux issus d'observations théodolites peuvent-ils être transformés en coordonnées (x,y) équivalentes à celles issues de la lecture d'un cliché sur un monocomparateur. On peut alors utiliser un seul et même système, très souple, très ouvert, et qui accepte en entrée les données issues de théodolites et/ou de caméras.

Schéma logique des différentes phases d'une mesure hybride mixant les instruments d'acquisition.



Cette mise en oeuvre très novatrice présente une amélioration notable du point de vue du cumul des erreurs.

Cependant, même si le calcul hybride de données acquises par des instruments différents ouvre encore plus largement les possibilités des mesures hybrides, ce n'est pas sans quelques contraintes.

- La définition des points de mesure adaptée aux différents systèmes.

- L'homogénéité des mesures : éviter par exemple d'utiliser une caméra avec un théodolite de haute précision ou encore éviter tout déséquilibre entre des points de mesures déterminés avec précision par photogrammétrie et d'autres pour lesquels on ne disposerait que de quelques observations théodolites dans une configuration de mesure peu favorable.

D'une manière générale, quelque soit le type de mesures hybrides utilisé, celles-ci demandent une grande polyvalence dans la maîtrise des systèmes et dans l'analyse des résultats.

4. APPLICATIONS

Examinons à présent quelques exemples d'applications en mesure par méthodes hybrides : photogrammétrie à vues convergentes + topométrie informatisée.

NANCAY

But des mesures :

- .étude des défauts de forme et positionnement relatif des miroirs du grand Radiotélescope de NANCAY.

- .Dimensions : miroir fixe : 300 m x 35 m
- .miroir mobile : 200 m x 40 m

Contraintes :

- .2000 points à mesurer avec une incertitude $\pm 1,5$ mm

- .liaison à établir entre les deux miroirs distants de 500 m

Systèmes utilisés :

système STARS (GSI)

- .prises de vues : caméra CRC1 GSI
- .observations théodolites : WILD T 2002/T 3000

topographie classique

- .nivellement de précision : niveau WILD N3
- .triangulation théodolites WILD T 2002
- .distance-mètre WILD DI 2002

ONERA

But des mesures :

- .position d'une maquette d'avion en vol, à un instant t, dans un référentiel donné.
- .suivi de la trajectoire de la maquette

Contraintes :

- .incertitude de mesure requise : ± 2 mm
- .détermination du référentiel de l'installation, imposant la mesure de points très isolés par rapport à la zone d'évolution de la maquette.

Systèmes utilisés :

Système RMS 2000 (WILD LEITZ)

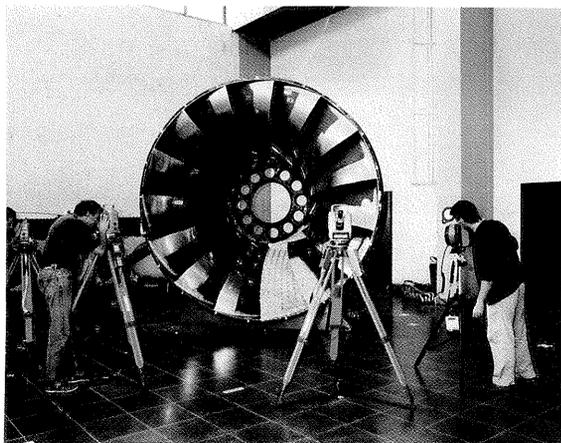
- .Observations théodolites WILD T 2002/T3000

Système MR2 (ROLLEI METRIC)

- .prises de vues : caméras ROLLEI 6006

Trois autres exemples d'application sont également illustrés page suivante.

EDF MALLEMORT

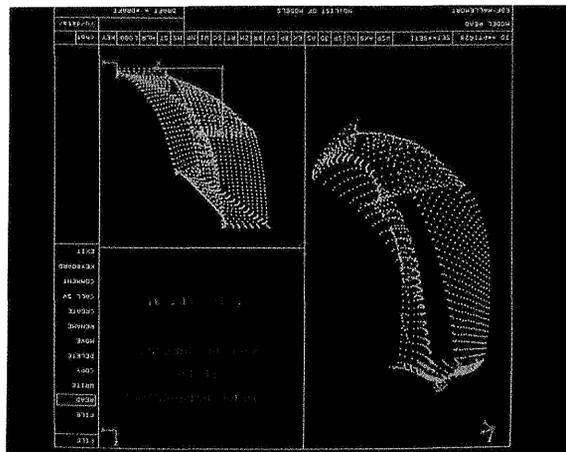


But des mesures :

- .caractérisation d'un canal hydraulique d'une roue de turbine usagée afin d'en obtenir un modèle numérique.
- .Dimensions : 1 m x 1 m x 0,8 m

Contraintes :

- .1500 points à mesurer avec une incertitude de $\pm 0,3$ mm
- .forme du canal présentant des angles d'incidence extrêmes ne permettant pas d'acquérir l'ensemble des 1500 points uniquement par photogrammétrie à vues convergentes.



Systèmes utilisés : STARS (GSI) calcul hybride

- Prises de vues : caméra CRC2
- Observations théodolites : WILD T 2002/T3000

TGV

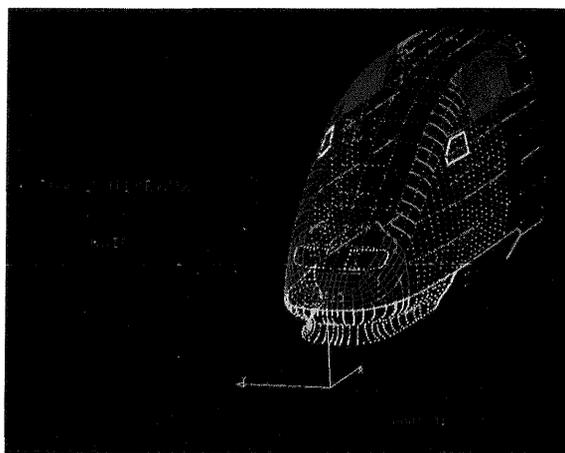


But des mesures :

- .numérisation d'une maquette de motrice du futur TGV à deux niveaux ; dimensions : 8 m x 3 m x 4 m.

Contraintes :

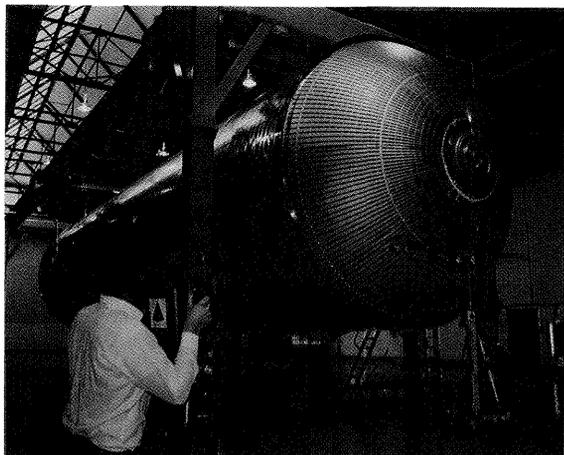
- .3500 points à mesurer avec une incertitude de $\pm 0,5$ mm.
- .détermination du référentiel objet, imposant la mesure de quelques points très isolés.
- .présence de quelques points au niveau de la jupe avant difficilement photographiables;



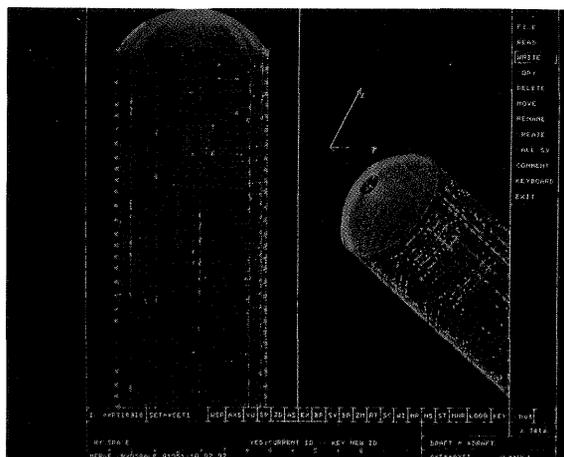
Systèmes utilisés : STARS (GSI) calcul hybride

- .prises de vues : caméra CRC1 GSI
- .observations théodolites : WILD T 2002/T3000
- Système RMS 2000 (WILD LEITZ)
- .observations théodolites WILD T 2002/T3000

CRYOSPACE



But des mesures : .caractérisation géométrique et dimensionnelle du réservoir cryotechnique du lanceur ARIANE 5 en différentes positions (verticale, horizontale) et en différents états (avant et après mise sous pression) ; dimensions : longueur : 20 m ; diamètre : 5 m



Contraintes :

- .16000 points avec une incertitude de mesure requise de $\pm 0,5$ mm
- .En position verticale, réservoir mis en place dans une fosse de 5 m de diamètre, limitant ainsi le recul disponible à 2 m, et rendant certaines zones difficilement photographiables.

Systèmes utilisés : STARS (GSI) calcul hybride

- .Prise de vues : caméra CRC2 de GSI
- .Observations théodolites : WILD T 2002/T3000

5. PERSPECTIVES

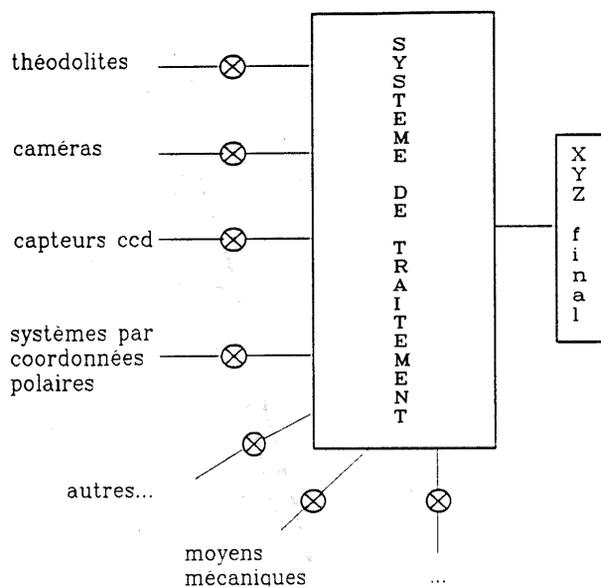
A ce stade, la réflexion peut encore progresser. En effet, sur la base de systèmes existants ayant déjà intégré certaines notions de mesure hybride, il est toujours intéressant de réfléchir aux différentes possibilités d'avoir des systèmes de plus en plus souples, de plus en plus proches d'un "système universel".

L'arrivée de la photogrammétrie digitale laisse à penser que ce nouveau moyen d'acquisition pourra intervenir (ou être intégré) soit en méthode hybride (calcul indépendant), soit de façon plus intéressante en calcul hybride.

Les possibilités de mesures hybrides à partir de ce nouveau moyen d'acquisition sont encore loin d'être toutes connues. Nous pouvons cependant imaginer associer la mesure d'objets en mouvement à des mesures par topométrie informatisée ou photogrammétrie de parties fixes, (reprises de référentiels), la mesure d'objets ou de parties d'objet inaccessibles par photogrammétrie ou par topométrie informatisée.

Etant donné la souplesse que peuvent apporter les mesures hybrides en général, il paraît intéressant d'étendre encore la diversité des systèmes d'acquisition.

Instruments d'acquisition Logiciels de transition



Globalement, les logiciels d'ajustement de faisceaux acceptent aujourd'hui plusieurs "entrées" moyennant quelques logiciels de transition (ex : transformation des données issues de théodolites en coordonnées cliché x, y...). Sur ce même principe, il n'est pas interdit d'imaginer greffer d'autres transitions vers d'autres instruments d'acquisition tels que des systèmes fournissant des coordonnées polaires, des systèmes lasers,... et pourquoi pas à l'extrême intégrer des données provenant de moyens d'acquisition mécaniques.

Nous n'avons pas par ces exemples la prétention d'être exhaustif. L'évolution de nouveaux moyens ou de nouvelles mises en oeuvre d'un système étant constamment en interaction avec les évolutions des besoins des industriels.

6 - CONCLUSION

Nous avons pu voir tout au long de l'exposé que grâce à des configurations de mesure par méthodes hybrides, il nous a été possible de réaliser des opérations de métrologie industrielle que nous n'aurions pas pu faire avec des systèmes ou des instruments uniques. De plus, nous pouvons constater que tant les possibilités de ce type de mesure que ses extensions sont loin d'être épuisées.