

MESURES DIMENSIONNELLES PAR METHODES OPTIQUES ET AUTRES METHODES :

Comparaison des résultats à travers des applications industrielles

Par Arnaud Dumont
Espace Industrie Contrôles (ESIC)

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, l'industrie s'est orientée vers la recherche de gains substantiels en productivité. Un des axes de cette recherche a consisté à optimiser les coûts et délais des opérations de contrôle. On a également cherché à diminuer les coûts d'assemblage de pièces aux origines toujours plus diverses, ce qui a eu pour conséquence directe de chercher à fabriquer de façon toujours plus précise et par là même d'avoir à contrôler de façon également plus précise. Parallèlement, la fabrication d'objets de grandes dimensions aux tolérances très "serrées" s'est heurtée aux moyens de contrôle traditionnels, largement dépassés en termes de capacité.

- Comment diminuer les temps et les coûts des contrôles dimensionnels ?
- Comment contrôler une pièce de grande dimension ?
- Comment garantir une excellente précision dans des environnements délicats et pour toute sorte de dimensions ?

C'est face à ces nouvelles exigences que se sont développés les systèmes de mesure tridimensionnelle par méthodes optiques qui se sont avérés particulièrement performants et concurrentiels. Dès lors, les constructeurs, les prestataires et plus généralement tous les utilisateurs se sont heurtés au problème de raccordement à la chaîne nationale d'étalonnage. Projets nouveaux, méthodes nouvelles, nouveaux instruments surgissaient face à des besoins précis et des urgences incontournables.

Au cours de cet exposé, nous évoquerons dans un premier temps les objectifs de la démarche visant à associer aux mesures par méthodes optiques des mesures comparatives par d'autres méthodes. Dans un deuxième temps, nous présenterons de manière très concrète trois exemples de mesures photogrammétriques associées à des mesures par nivellement électronique, par machine à mesurer tridimensionnelle et par théodolites informatisés. Enfin, dans une dernière partie, nous débattons des intérêts mais aussi des limites d'une telle démarche dans un contexte industriel.



LES OBJECTIFS DE LA DEMARCHÉ

Pour mieux comprendre les tenants et les aboutissants d'une telle démarche, il semble que l'on puisse dresser un parallèle intéressant avec les expériences scientifiques. On cherche en effet dans chacun des cas à reproduire un événement que la théorie ou la connaissance ont prédit, et la "production" de cet événement vient conforter, voire démontrer, le bien-fondé des hypothèses émises.

Ainsi, à ce jour, face à un projet de mesure tridimensionnelle par méthodes optiques, il est possible d'effectuer une simulation numérique qui renseigne sur la précision de mesure que l'on est en droit d'attendre étant donné l'ensemble des paramètres connus (parmi lesquels nous pouvons citer la configuration

de mesure, le type de capteurs et leurs méthodes de calibration, les outils de traitement utilisés, la précision des étalons de longueur, etc). La mise en œuvre de ces mesures conformément à la simulation réalisée et l'obtention des résultats à la précision prévue vient valider l'ensemble : l'objectif est atteint.

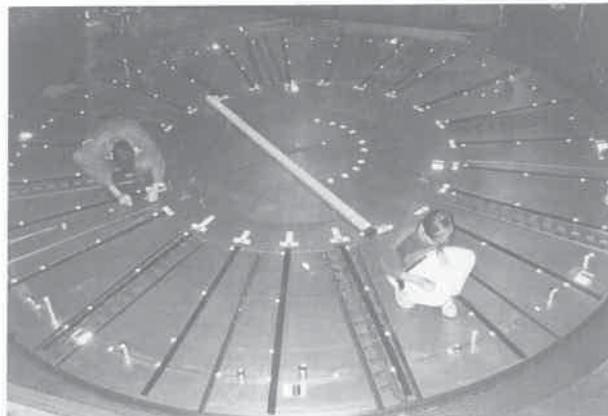
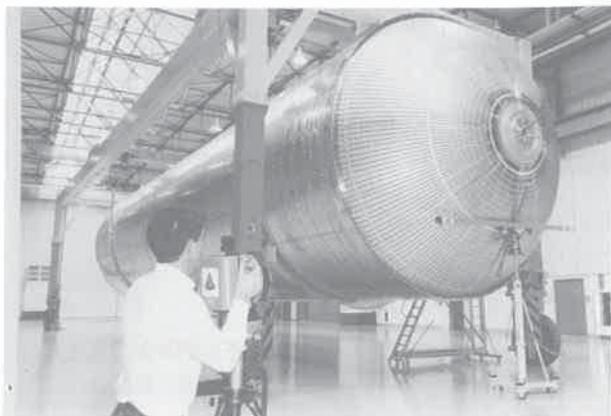
Mais attention, dans le cas qui nous concerne, on ne s'intéresse pas aux résultats de la mesure mais bien à leur précision, ce qui amène tout naturellement à effectuer parallèlement des mesures avec des moyens réputés plus précis, ou à tout le moins dont on connaît parfaitement la précision.

C'est dans ce cadre que nous allons présenter les trois exemples qui suivent.

LA PHOTOGRAMMETRIE ET LA MMT

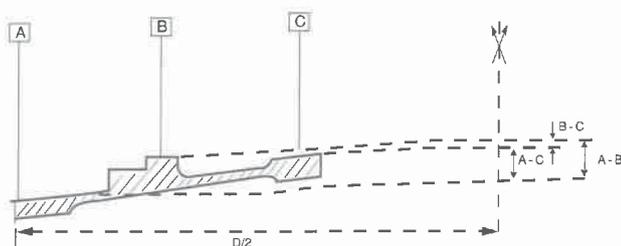
La porte de réservoir

Le réservoir cryogénique du lanceur ARIANE 5 fabriqué par la société CRYOSPACE (GIE AIR LIQUIDE / AEROSPATIALE) dispose de trois fonds, deux fonds extrêmes et un fond commun séparant le réservoir oxygène du réservoir hydrogène. Ces fonds sont munis d'une porte circulaire de 1,1 m de diamètre qui a fait l'objet de mesures comparatives réalisées par photogrammétrie et machine à mesurer tridimensionnelle.



■ Les mesures portaient sur les éléments suivants :

- diamètre extérieur
- planéité des plans A / B / C
- distances entre plans A / B / C



■ Les résultats sont les suivants :

	Photogrammétrie (mm)	Machine à mesurer (mm)	Ecart (mm)
Circularité			
Diamètre	1090,15	1090,11	-0,04
Défaut de circularité	0,03	0,02	-0,01
Défaut de planéité			
Plan A	0,12	0,13	0,01
Plan B	0,04	0,04	0,00
Plan C	0,02	0,02	0,00
Distance entre plans			
A-B	40,37	40,39	0,02
A-C	32,86	32,88	0,02
A-D	7,51	7,50	-0,01

■ L'incertitude de mesure estimée était de $\pm 0,02$ mm.

LA PHOTOGRAMMETRIE ET LE NIVELLEMENT ELECTRONIQUE

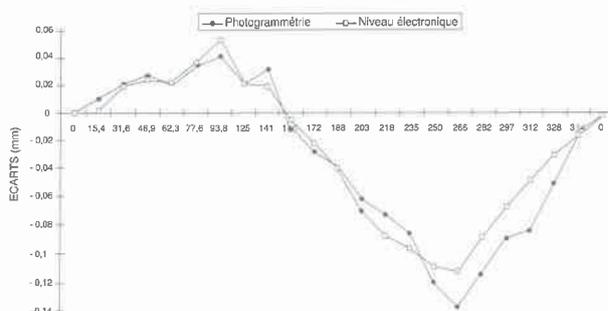
Le plateau de tour

Dans le cadre du projet LAMA de fabrication de miroirs de télescope en aluminium, la société NFM a choisi de mettre en œuvre la technique de photogrammétrie à vues convergentes sur un plateau de tour de 6 m de diamètre ayant fait l'objet de mesures par nivellement électronique.

Par ailleurs, un certain nombre de cales d'épaisseurs connues avaient été disposées sur le plateau de tour.

■ Les résultats sont les suivants :

Photogrammétrie et nivellement électronique



Moyenne des écarts : **0,01 mm**

Ecart minimum : **0,00 mm**

Ecart maximum : **0,03 mm**

Mesure des cales

N° de Plot	Détermination par comparateur électronique (mm)	Détermination par photogrammétrie (mm)	Ecart (mm)
1	25,291	25,313	+0,022
2	99,983	99,998	+0,015
3	10,463	10,458	-0,005
4	50,510	50,516	+0,006
5	10,598	10,608	+0,010
6	72,011	72,009	-0,002
7	94,194	94,216	+0,022
8	79,983	79,974	-0,009
9	80,505	80,517	+0,012
10	9,991	10,009	+0,018

■ L'incertitude de mesure estimée était de **0,02 mm**.

LA PHOTOGRAMMETRIE DIGITALE ET LE THEODOLITE

Le gabarit

Dans le cadre d'un projet de calibration de caméras CCD, ESIC a été amené à concevoir un gabarit équipé d'une soixantaine de cibles sur un volume d'environ $L = 0,7 \text{ m}$ $l = 0,5 \text{ m}$ $h = 0,5 \text{ m}$. Les coordonnées tridimensionnelles des cibles, déterminées lors de chaque calibration, ont également fait l'objet d'observations angulaires par théodolites traitées par la méthode d'ajustement de faisceaux.

■ Les résultats sont les suivants :

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
RMS des écarts	0,5	0,11	0,04
Ecart minimum	0,00	0,00	0,00
Ecart maximum	0,10	0,16	0,12

■ L'incertitude de mesure annoncée par la simulation était de $\pm 0,1 \text{ mm}$.

LES INTERETS ET LES LIMITES DE LA DEMARCHE

Au travers de ces exemples, on entrevoit clairement les conclusions logiques qu'il est possible de tirer des différentes mesures réalisées. Dans telle et telle condition, nous sommes garants de tel et tel résultat, à telle précision. Le danger est grand alors d'extrapoler en généralisant ces conclusions, franchissant par la même à coup sûr les limites de validité difficilement maîtrisables de telles expériences. Car la souplesse de mise en œuvre des mesures par méthodes optiques a son corollaire dans la difficulté à les environner d'une manière suffisante pour le novice. Ainsi, s'il est par exemple relativement aisé de "borner" l'utilisation d'une MMT, les méthodes optiques nécessitent la maîtrise d'un nombre élevé de paramètres.

Il s'agit moins alors de la mise en œuvre d'un système que de la réalisation d'une véritable expérience. Et

cette expérience s'écarte de l'expérience scientifique en ce sens où il ne s'agit plus seulement de produire un événement mais de juger la qualité suivant laquelle il a été produit en dehors qui plus est, de tout point de comparaison, si ce n'est une expérience réputée semblable. Or prétendre une expérience semblable à une autre revient à en connaître de manière exhaustive les paramètres... Est-ce vraiment envisageable ?

Il nous appartient alors de développer des modes opératoires rigoureux et de rattacher autant que faire se peut les mesures à des valeurs connues. Deux grands axes se dessinent alors :

● Les étalons de longueur

Les étalons de travail, utilisés lors des mesures peuvent être comparés à des étalons de référence rattachés au LNE. De plus multiplier le nombre des étalons sur chaque mesure est une garantie supplémentaire indispensable et pratiquement réalisable sans trop de difficultés.

● La calibration des capteurs

C'est sans conteste un axe essentiel d'amélioration des précisions de mesure, notamment au travers des procédures d'auto-calibration. Celles-ci permettent en effet de calibrer le capteur dans sa configuration de mesure, garantissant ainsi une très grande homogénéité.

CONCLUSION

Les mesures comparatives apportent incontestablement un progrès dans la connaissance et la diffusion des techniques de mesure par méthodes optiques. Le dilemme est sans doute qu'il faudrait, dans un souci de rigueur, les rendre systématiques. Cela n'est évidemment pas envisageable, ne serait-ce que parce que certaines mesures ne sont réalisables par aucune autre méthode (aujourd'hui).

L'alternative est donc de poursuivre l'entreprise de rattachement des mesures à des valeurs connues, notamment au travers du suivi des étalons de longueur et de la calibration des capteurs, qui doivent nous amener progressivement à une "normalisation" des mesures dimensionnelles par méthodes optiques.