

MESURES DE DÉFORMATIONS

La vidéo rapide s'adapte aux conditions difficiles

▼ Pour mesurer le déplacement de la structure d'un propulseur lors de sa mise à feu, la Direction générale de l'armement (DGA) recherchait une méthode rapide, précise, et adaptée à des conditions extrêmes. Sa réflexion l'a conduite à imaginer une solution innovante basée sur l'association de caméras numériques rapides et d'un traitement photogrammétrique. L'application a été confiée à la société Fit Esic. Compte tenu de l'environnement de mesure, particulièrement hostile, cette dernière a dû faire face à des contraintes très spécifiques. Mais après une simulation numérique de la solution et plusieurs essais, le résultat a été couronné de succès.

Situé en Gironde, au cœur du bassin aérospatial aquitain, DGA Essais de Missiles est le centre d'essais de la Direction générale de l'armement pour l'expertise et les essais au sol des systèmes propulsifs de missiles et de lanceurs. Fort de l'expérience acquise à travers différents programmes de missiles stratégiques et grâce à des moyens uniques en Europe, le centre s'attache à trouver les meilleures conditions pour réaliser les essais de performances, de sécurisation ou de vieillissement des propulseurs. Dans le cadre de cette activité, il est sans cesse amené à explorer de nouvelles techniques de mesure. Mais ses contraintes sont multiples... Lors d'un essai en conditions réelles, il faut pouvoir réaliser des mesures dans un contexte



DGA Essais de Missiles Site Gironde (DGA EM SG) est le centre d'essais de la DGA pour l'expertise et les essais au sol des systèmes propulsifs de missiles et de lanceurs. Pour améliorer les conditions d'essais, il explore sans cesse de nouvelles techniques de mesure...

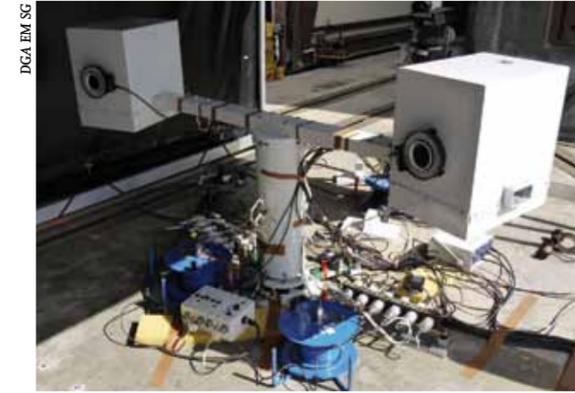
L'essentiel

- Pour mesurer la déformation du fond avant d'un propulseur, la DGA a souhaité associer la vidéo numérique rapide et la photogrammétrie.
- Compte tenu des conditions extrêmes de la mesure, l'application a nécessité de développer des composants spécifiques, et de réaliser plusieurs essais pour optimiser leur intégration.
- Au final, les mesures sont réalisées avec une précision inférieure à 0,3 mm, à une fréquence de 3 kHz.

particulièrement difficile : les températures atteintes, les vibrations, la forte luminosité, et la rapidité des phénomènes à observer lors des mises à feu sont autant de facteurs qui rendent la tâche plus compliquée. De plus, pour des raisons matérielles et financières évidentes, le nombre d'essais réalisable est nécessairement limité. Il faut alors utiliser des simulations numériques, puis tester les moyens envisagés dans les conditions les plus

proches possibles du réel. Dans ces conditions, les applications sont souvent complexes. C'est ce qu'illustre la dernière étude réalisée par le centre d'essais. A l'origine du projet, la volonté de trouver une méthode plus performante que celle qui était jusqu'alors uti-

lisée pour mesurer les déformations d'un fond de propulseur, lors de l'allumage. Les exigences de l'application sont importantes. Aux contraintes environnementales (vibrations, bruit, rayonnement, chaleur intense, etc.) s'ajoutent des critères métrologiques très stricts : la nécessité de réaliser



Pour mesurer le déplacement de la structure du propulseur, DGA Essais de missiles a utilisé un dispositif optique basé sur deux caméras de vidéo rapide et un traitement photogrammétrique. Malgré les conditions particulièrement difficiles de la mesure, la solution a fourni les résultats attendus.

des mesures avec une précision de l'ordre de 0,5 mm, une fréquence de mesure particulièrement élevée (3 000 Hz), sur un intervalle de temps de quelques centaines de millisecondes après l'ordre de mise à feu. C'est en effet durant ces premiers instants que l'on assiste à la montée en puissance de la chambre de combustion, et donc aux déformations maximales sur le fond du propulseur.

Une démarche rigoureuse

Pour répondre à ce besoin, DGA Essais de Missiles utilisait jusqu'à présent des capteurs potentiométriques. La solution a fait ses preuves, mais elle souffre de plusieurs limites, notamment en termes de fiabilité et de vitesse d'acquisition. Pour la remplacer, le centre d'essais a tout de suite imaginé une solution basée sur des méthodes optiques. En effet, il a déjà l'habitude de travailler avec des caméras vidéo numériques rapides (avec des fréquences d'acquisition allant jusqu'à 100 000 images/s) pour des essais où le phénomène à caractériser est très bref. Lors d'essais dits de sécurisation, par exemple, il utilise ces caméras pour identifier les éléments qui réagissent en premier, et en déduire le type de réaction (détonation, déflagration, combustion, explosion, etc.). Il peut également calculer les vitesses d'éjection de certaines pièces lors d'essais dynamiques. Pour son nouveau projet, il pense donc réutiliser les caméras de vidéo rapide qu'il a déjà, et les associer avec une méthode de mesure 3D bien connue : la photogram-

métrie. Le projet débute par le lancement d'un appel d'offres. Parmi les sociétés qui répondent, il y a Fit Esic, spécialisée depuis plus de vingt ans dans la métrologie dimensionnelle par procédés optiques. Celle-ci se montre

confiante. « Pour avoir déjà utilisé la photogrammétrie dans d'autres milieux hostiles (nucléaire, maritime, etc.), nous savions que ce serait réalisable », indique Frédéric Jallon, directeur innovation R&D de la société. Fit Esic est retenue pour l'étude, le développement, la mise en œuvre et la validation du nouveau moyen de mesure. Le projet envisagé est conforme aux idées émises par le centre d'essais. Il consiste à coupler deux technologies (ma-

îtrisées respectivement par la DGA et Fit Esic) : l'acquisition d'images avec des caméras rapides, et un traitement photogrammétrique. Pour la société, qui utilise la photogrammétrie industrielle depuis ses débuts (fin des années 80), le principe de la mesure est simple. « La photogrammétrie se définit comme la capacité à réaliser des mesures à partir d'images à vues convergentes de l'objet. Mathématiquement, cela revient à considérer que le foyer de la caméra, l'image du point sur le capteur et le point sur l'objet sont alignés. Ensuite, il ne reste plus qu'à formaliser un système d'équations et à le résoudre », résume Frédéric Jallon.

Le projet se déroule pas à pas, suivant une démarche rigoureuse. Les objectifs de départ sont multiples. Le propulseur étudié est en configuration horizontale, fixé contre un butoir évidé en son centre. Les points de mesure doivent être situés sur des génératrices particulières, et l'incertitude obtenue doit être inférieure ou égale à 5 % de l'étendue de mesure. Comme les déformations sont différentes suivant l'axe axial ou radial, la précision à atteindre est définie par deux valeurs, suivant chacune des deux directions. La fréquence d'acquisition, quant à elle, doit s'élever à 3 000 Hz (soit une mesure toutes les 333 microsecondes), pour que le centre d'essais puisse corrélérer les résultats avec la montée en pression du propulseur.

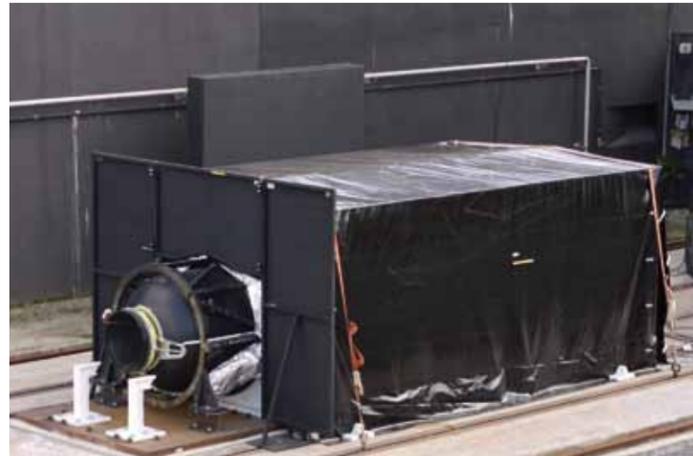
Le dispositif de mesure comprend naturellement deux caméras de vidéo rapide, des cibles rétro réfléchissantes collées sur le fond du propulseur, et un éclairage. Mais le choix de chaque élément et de sa disposition doit faire l'objet d'une étude précise. Par expérience, l'équipe de Fit Esic connaît les différents critères à considérer pour mettre en œuvre une application photogrammétrique. Au niveau du matériel, par exemple, il faut réfléchir au type de papier rétro réfléchissant, →

Optimiser ses bilans énergétiques

FLEXIM vous propose une solution par débitmétrie ultrasonore totalement non-intrusive

- Mesurer les flux de chaleur et de froid
- Evaluation du rendement du système de chauffage et de climatisation
- Version G601 : détections et mesures de fuites dans les réseaux d'air comprimé
- Vérification et mesure sans arrêt du process
- Améliorer l'efficacité de vos installations

www.flexim.fr
info@flexim.fr



Pour limiter l'influence de la luminosité extérieure et du rayonnement dégagé par la combustion, le centre d'essais a réalisé un tunnel opaque de façon à former une chambre noire entre le système de mesure et le fond du propulseur.



Le dispositif de mesure est constitué de deux caméras, de cibles rétro réfléchissantes (collées sur le fond du propulseur) et d'un éclairage. Les contraintes environnementales ont conduit à réaliser des choix techniques très spécifiques.

→ à l'optique et à l'éclairage que l'on doit utiliser. On doit aussi étudier l'emplacement des caméras par rapport à l'objet que l'on mesure. Viennent aussi un certain nombre de critères métrologiques : la précision recherchée au niveau du traitement d'images, les opérations d'étalonnage nécessaires et leur compatibilité avec les contraintes environnementales, etc. Enfin, « il faut déterminer par ordre de criticité les phénomènes susceptibles de perturber le dispositif, et réfléchir aux moyens de le protéger », ajoute Frédéric Jallon. L'étude de tous ces critères conduit l'équipe de Fit Esic à réaliser un certain nombre de choix techniques. Parmi eux, le type d'éclairage. Pour obtenir une image des cibles sur

le capteur avec un bruit minimum, il est nécessaire d'utiliser une source coaxiale à l'axe optique des caméras. Pour sa conception, Fit Esic s'appuie sur la société GMS, spécialisée dans le développement et la conception de produits spécifiques dans le domaine de la métrologie 3D. Comme aucune solution standard du marché ne peut convenir, GMS conçoit un éclairage annulaire spécifique, qui se monte sur les caméras. « Le traitement est basé sur une exploitation presque "monochromatique" des images. Il faut donc optimiser tous les éléments (le matériau réfléchissant, la source lumineuse, le temps d'intégration des caméras) pour s'affranchir le plus possible de l'environnement, et ne "voir" au final que des images noires avec des cibles blanches », explique Frédéric Jallon.

L'intégration mécanique des caméras, quant à elle, pose d'autres questions. Une simple triangulation exploitant l'orientation relative des caméras par rapport au propulseur sera-t-elle suffisante ? Comment déterminer la position des caméras à chaque prise d'images ? Compte tenu des fortes vibrations auxquelles elles sont soumises, Fit Esic et GMS doivent là aussi concevoir une solution spécifique... Pour cela, les deux sociétés imaginent un cadre de référence (isolé des vibrations et indéformable), placé devant le fond avant du propulseur. Les caméras sont ensuite positionnées à une distance de trois mètres, de manière à ce

qu'elles puissent voir toutes les cibles. La mesure est alors basée sur le principe de la triangulation à partir de la position des deux caméras, qui est elle-même déterminée par le cadre de référence. Ces différentes opérations de traitement sont réalisées a posteriori, par le logiciel VSTARS (proposé par GMS). Enfin l'optique des caméras a elle aussi été modifiée. Pour ne pas subir l'effet des vibrations, les composants mobiles ont été fixés au système. « C'est un peu comme si l'on avait supprimé toutes les capacités de réglage optique pour rendre la solution plus robuste », explique Frédéric Jallon. Cependant le projet ne peut se limiter à un simple énoncé théorique des solutions envisagées. Il faut aussi les valider... Pour cela, impossible de multiplier des essais trop engageants en termes de préparation et de moyens. Fit Esic doit faire appel à la simulation numérique, puis valider les résultats par des tests dits "unitaires".

Une maquette pour valider le procédé

La photogrammétrie se traduit sous la forme d'équations reliant trois types de paramètres : la localisation de la caméra lors des prises de vue, les paramètres optiques, et la géométrie de l'objet (autrement dit les coordonnées 3D des cibles mesurées). La phase de simulation numérique consiste alors à évaluer l'impact éventuel des phénomènes perturbateurs (vibrations, rayonnement, etc.) sur chacun de ces paramètres, et à le prendre en compte dans le procédé de mesure 3D, afin d'évaluer ses conséquences sur l'incertitude de mesure. Pour cela, il faut multiplier les essais (à partir de plusieurs jeux de données bruitées), et ne retenir que les écarts maximaux.

Ainsi, il est possible d'évaluer l'influence maximale des conditions environnementales, pour une configuration d'essais donnée. « Cette approche conduit à déterminer si le phénomène perturbateur est important, si des moyens de protection sont indispensables, ou s'il faut rejeter la configuration d'essais que l'on envisage », précise Frédéric Jallon. Sans surprise, les phénomènes vibratoires liés à la combustion s'avèrent être le plus gros facteur de perturbation, avec des conséquences possibles sur la stabilité des caméras. Pour évaluer correctement ce risque et concevoir une solution appropriée, Fit Esic réalise un certain nombre d'essais dits "à blanc". Les mesures sont réalisées en grandeur réelle, à l'aide d'une maquette du propulseur. Les déformations sont matérialisées par un déplacement connu de plusieurs micromètres. En face du propulseur, les caméras sont montées sur une table vibrante et équipées d'accéléromètres, pour connaître les vibrations subies et les corrélées avec la précision de mesure obtenue. Un système anti-vibratoire est conçu spécifiquement pour l'application.

Après plusieurs essais, le résultat est là : l'impact des vibrations sur l'incertitude de mesure est devenu négligeable. Au terme de ces différentes approches expérimentales, voici enfin l'heure de vérité. Deux essais sont réalisés en conditions réelles, sur le site girondais de Saint-Jean-d'Illac, à un an d'intervalle. Lors du premier tir, une bâche noire est installée au-dessus du propulseur, pour limiter l'influence de la luminosité extérieure. Mais une partie du rayonnement dégagé par la combustion perturbe la mesure. Lors du deuxième essai, DGA Essais de Missiles réalise alors un tunnel opaque, de façon à former une "chambre noire" entre les caméras et le fond du propulseur. Les résultats s'avèrent concluants. Les objectifs initiaux fixés par le centre d'essais sont atteints, et même dépassés : l'incertitude de mesure obtenue s'élève en effet à 0,15 mm dans la direction radiale, et 0,30 mm dans la direction axiale... Les résultats sont exprimés de manière classique (sous forme de courbes représentant les déplacements mesurés), ou en superposant les déplacements sur le flux vidéo. « On obtient

ainsi une représentation animée des déplacements en fonction du temps », souligne Frédéric Jallon. Pour le centre d'essais, le contrat est rempli. Il dispose désormais d'une nouvelle méthode pour mesurer le fond avant des propulseurs, avec une fréquence d'acquisition et une précision bien meilleures à celles de la solution précédente. La société Fit Esic a par ailleurs profité du deuxième essai pour réaliser un transfert de compétences. Grâce à lui, le centre d'essais est complètement autonome sur son application. Et il pense déjà à la suite... Il lui reste à démontrer que la nouvelle méthode de mesure peut également être appliquée sur une autre configuration d'essai (avec un propulseur en position verticale, par exemple), et sur d'autres sortes de propulseurs que celle qui a fait l'objet de cette étude. « Avec des propulseurs plus grands, ou placés en configuration verticale, il faudra certainement modifier l'emplacement des caméras. Bref, il y aura une nouvelle étude à faire », précise Frédéric Jallon. Mais cette fois-ci, DGA Essais de Missiles sait qu'il pourra réutiliser la méthode qu'il a conçue.

Marie-Line Zani-Demange

Un expert des mesures optiques

La société Fit Esic est spécialisée, entre autres, dans la métrologie dimensionnelle par des procédés optiques. Suivant les besoins de ses clients, elle développe et met en œuvre des solutions destinées aux contrôles géométriques, à l'assistance aux moyens d'assemblage et d'usinage, aux inspections périodiques, à la maintenance, ou encore à la rétroconception. Les différentes technologies utilisées (laser, imagerie, lumière structurée, photogrammétrie, etc.) sont adaptées aux objets de grandes dimensions et aux environnements hostiles. Présente dans l'industrie depuis plus de 20 ans, la société compte un effectif de 170 personnes réparties sur tout le territoire. Elle dispose également de filiales à l'étranger (aux Etats-Unis et en Tunisie). Son siège est situé à Nantes.

Codra vient dans votre région

14 VILLES DATES

Panorama Days

BONNES RAISONS DE SE RENCONTRER

Inscription sur : www.GetPanorama.net

OPERATEURS

TECHNICIENS

INFORMATIENS

DIRECTIONS

Panorama Suite, la solution globale pour maîtriser vos installations

+33 1 60 92 93 00 - panorama@codra.fr - 19, avenue de Norvège - Narvik - 91953 Courtaboeuf Cedex

Supervision SCADA
Reporting GTC/GTB
Alarms Management
Process Temps réel
Automatisme Traçabilité
Bases de données
Infrastructures RTU
Cloud Green tech
Télégestion Sécurité
Maintenance Astreintes
Energie Transport
Bilan de performances...

25 ans
Codra