

# Les caméras hautes vitesses démontrent la puissance de la Corrélation d'Images Numériques (DIC)

*Par Nicholas Long, Responsable OEM, et Doreen Clark, Chef de produit, Vision Research*

La Corrélation d'Images Numériques (ou DIC, Digital Image Correlation) est une technique de mesure optique qui permet une analyse de champs de déformation, de déplacement et de contrainte d'un matériau ou d'une structure. La popularité de cette technique ne cesse de croître, surtout dans l'aérospatiale, la défense et l'industrie automobile où la DIC est utilisée pour tester la résistance et la réponse en charge de divers matériaux et pièces. Les caméras hautes vitesses ainsi que diverses solutions logicielles contribuent à l'expansion de la DIC dans de nouvelles applications, tout en délivrant des données en grande quantité et de haute qualité.

La DIC peut être mise en œuvre à l'aide d'une seule ou de plusieurs caméras. L'utilisation d'une seule caméra produit une image 2D qui permet d'analyser, dans le plan, l'allongement, la résistance à la traction ou la déformation. Les systèmes multi-caméras sont plus souvent utilisés en DIC : ils produisent des images 3D dans les applications telles que les tests vibratoires ou l'analyse de déformation. Les caméras sont dans ce cas synchronisées entre elles et filment sous des angles différents. Pour réaliser une DIC, une figure de speckle spécialement préparée est appliquée à la surface de l'échantillon, puis le mouvement de cette figure est enregistré et analysé afin de révéler les zones de contrainte et les déplacements. La Figure 1 (voir page suivante) est un exemple de suivi d'une figure de speckle aléatoire, et la Figure 2 (voir page suivante) montre l'évolution des mesures de contrainte et de déplacement.

Alors que la méthode traditionnelle consiste à positionner des capteurs directement sur l'objet pour recueillir les informations de contrainte et de mouvement, la DIC permet une approche bien plus pratique et présente de nombreux avantages :

1. La DIC est une technique sans contact qui élimine le poids, les distorsions électriques et le collage délicat des capteurs utilisés dans la méthode traditionnelle.
2. La DIC fournit des mesures à partir de nombreux points sur une zone donnée, recueillant davantage d'informations que les capteurs traditionnels, sans nécessiter une répétition des mesures.
3. La DIC fournit des données quantitatives adaptées à l'ingénierie, y compris des mesures absolues en complément des données relatives.
4. La DIC est plus rapide à mettre en œuvre, et peut facilement s'intégrer au cycle de conception.

Dans de nombreuses applications complexes, la DIC peut fournir davantage d'informations quantitatives que les méthodes traditionnelles basées sur des capteurs.

## Les caméras hautes vitesses démontrent la puissance de la Corrélation d'Images Numériques (DIC)

**Figure 1 : Suivi de points sur des images**

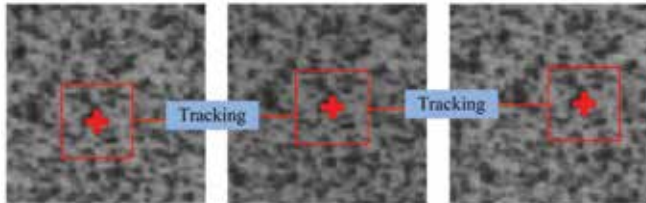


Image reproduite avec l'aimable autorisation de C.Y. Chang ; L.C. Chen ; W.C. Lee ; et C.C. Ma. 2015, *Measuring Full-Field Deformation and Vibration Using Digital Image Correlation*.

**Figure 2 : Graphique illustrant le déplacement et la contrainte après déformation**

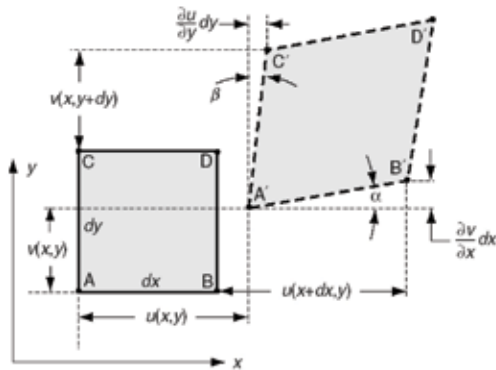


Image reproduite avec l'aimable autorisation de C.Y. Chang ; L.C. Chen ; W.C. Lee ; et C.C. Ma. 2015, *Measuring Full-Field Deformation and Vibration Using Digital Image Correlation*.

Pour de nombreuses applications, la DIC fournit davantage d'informations quantitatives que les méthodes traditionnelles à base de capteurs, ce qui en fait une solution robuste pour la récolte de mesures précises. Chacun des exemples suivants exploite plusieurs avantages de la DIC, dont un en particulier. En raison du large éventail d'applications, ils présentent aussi l'utilisation de différents logiciels et caméras.

### AVANTAGE DE LA DIC N° 1 : TECHNIQUE SANS CONTACT EXEMPLE DÉMONTRÉ — MESURE DES VIBRATIONS DANS UNE STRUCTURE ROTATIVE

La mesure de données vibratoires de structures rotatives est difficile à mettre en œuvre pour les capteurs traditionnels tels que les jauges de contrainte et accéléromètres, ces derniers transmettant des signaux par l'intermédiaire de collecteurs rotatifs qui sont source de bruit. De plus, pour ne pas modifier le mouvement de la structure rotative, l'utilisateur est limité par le nombre de possibilités de positionnement de ces capteurs. L'utilisation d'une analyse modale classique pour ce type d'application est une difficulté supplémentaire, car elle nécessite la mesure de l'excitation du système. Pour ces raisons la DIC est une technique sans contact extrêmement avantageuse dans ce type d'application. Des chercheurs de l'Université du Texas à Austin ont démontré que la DIC associée à une technique d'analyse spécifique permet de recueillir des données vibratoires à partir d'une pale rotative et de réaliser une analyse modale (Rizo-Patron, 2015).

Les chercheurs ont utilisé deux caméras numériques hautes vitesses Vision Research Phantom Miro M310 pour la capture des images. Ces

caméras peuvent enregistrer 3 200 images par seconde en pleine résolution 1280 x 800 pixels. Les images ont été traitées à l'aide du logiciel LaVision DaVis 8.2.2, et l'expérience a employé la méthode Ibrahim Time Domain afin de déterminer la fréquence des vibrations sans mesurer l'excitation.

Les chercheurs ont testé leur approche sur un rotor d'hélicoptère de 2 mètres de long excité par un jet d'air comprimé, capturant des images à 1 000 Hz, pour une vitesse de pale jusqu'à 900 tr/min. La déformation hors plan du rotor a été mesurée avec une précision de 60 microns, soit 0,006 % du rayon du rotor, et une résolution spatiale de 7,2 millimètres. Les résultats suggèrent que l'association de la DIC avec des caméras hautes vitesses et la méthode Ibrahim Time Domain est efficace pour la détermination expérimentale des paramètres modaux des systèmes rotatifs.

### AVANTAGE DE LA DIC N° 2 : DE NOMBREUX POINTS DE MESURE FOURNISSENT DES DONNÉES PLUS COMPLÈTES EXEMPLE DÉMONTRÉ — ÉTUDE DES MOUVEMENTS EN 3-D DES POISSONS

L'utilisation de la DIC peut être avantageuse dans les études biologiques et médicales, car elle fournit des mesures de mouvement que les techniques traditionnelles ne peuvent réaliser. Des chercheurs de l'Université de Suzhou en Chine l'appliquent pour mieux comprendre les mouvements de nage en 3-D des poissons (Jiang, 2016). Les chercheurs ont mis en place une figure de speckle sur les poissons, puis ont utilisé deux caméras hautes vitesses Phantom pour collecter les images des poissons durant la nage. Ils ont ensuite collecté 4 096 images et utilisé un algorithme de corrélation d'images pour reconstruire en 3D la forme, la contrainte et les mouvements de nage. Par rapport aux méthodes précédemment utilisées pour l'étude de la nage des poissons, la DIC fournit des données améliorées, avec notamment un suivi temps réel de n'importe quel point du corps du poisson, ainsi que son déplacement en surface dans une ou plusieurs directions.

### AVANTAGE DE LA DIC N° 3 : DONNÉES QUANTITATIVES EXEMPLE DÉMONTRÉ — RÉALISATION D'UNE ANALYSE À GRANDE ÉCHELLE ET MOUVEMENTS MULTIDIRECTIONNELS

La réalisation d'une analyse à grande échelle avec des capteurs traditionnels peut s'avérer onéreuse en raison de l'importante surface à couvrir. De plus, les mouvements multidirectionnels peuvent nécessiter des capteurs ou tests supplémentaires. Les techniques de DIC offrent une solution à ces contraintes. Des chercheurs de l'Université de Grenoble en France ont utilisé la DIC dans le cadre d'une analyse plein champ afin d'étudier la façon dont les structures à ossature bois réagissent à une activité sismique (Sieffert, 2016). Cette analyse impliquait la capture du déplacement plein champ d'une maison à ossature bois à l'échelle 1 :1 soumise à des séismes simulés sur une table de vibration. Les chercheurs ont opté pour le meilleur compromis entre la résolution d'image nécessaire à une collecte suffisante de données, et le nombre d'images enregistrées nécessaires au suivi du phénomène.

Ils ont pour cela utilisé une caméra Phantom v641 haute vitesse associée au logiciel d'analyse Tracker. Pour obtenir l'analyse DIC la plus précise possible, la caméra était configurée en résolution maximale 2560 x 1600 pixels, correspondant pour chaque pixel de la caméra à 2,16 millimètres du mur filmé. L'ajout d'une cartouche mémoire Cinemag de 128 Gigaoctets a permis d'enregistrer un film de 40 Gigaoctets pour chaque signal, à la cadence de 150 images/seconde. Pour chaque séisme simulé, les chercheurs ont acquis 7 599 images et suivi près de 4 000 pixels.

## Les caméras hautes vitesses démontrent la puissance de la Corrélation d'Images Numériques (DIC)

Les chercheurs ont également ajouté à la structure des appareils de mesure avec contact afin de mesurer le déplacement de la table de vibration. L'analyse DIC a fourni les déplacements dans les directions x et y, ce qui n'était pas possible à l'aide des capteurs traditionnels. De même, la technique DIC a fourni des informations sur le comportement en flexion des éléments en bois qui n'étaient pas observables autrement. Les chercheurs en ont conclu que les mesures de déplacement de champ DIC ont apporté la preuve directe du comportement de résistance sismique de cette structure à ossature bois.

### LES LOGICIELS PERMETTENT L'EXPANSION DE L'APPLICABILITÉ DE LA DIC

Des approches DIC fondamentales peuvent être associées à un certain nombre de logiciels spécialisés pour une analyse détaillée dans une grande variété d'applications. Par exemple, des chercheurs de Sandia National Laboratories ont utilisé un logiciel développé en interne et une technique DIC de pointe afin de surveiller les performances de fonctionnement d'un mécanisme (Palaviccini, 2016). Étant donné que l'application d'une figure de speckle traditionnelle avec peinture peut altérer la forme ou la masse du composant en cours d'analyse, ils ont utilisé une technique avancée de marquage par laser pour ajouter les points de référence sur le composant. En maintenant le faisceau du laser défocalisé, et en conservant ses différents paramètres en-dessous d'un seuil au préalablement calculé, le matériau a été protégé et non altéré.

Les scientifiques ont modifié le logiciel DIC pour fonctionner avec des formes arbitraires. Cela permet le suivi d'une plus grande partie de la surface d'un composant, améliorant la précision de l'analyse. Cette version modifiée a été intégrée à un système de vision automatisé accueillant une caméra Phantom v1210. Ce système a pu être utilisé pour surveiller des composants fonctionnant dans une unité de production.

### CHOISIR UNE CAMÉRA POUR LA DIC

Le type de caméras utilisées en DIC influe dans la qualité des données obtenues et les analyses possibles, de même que le type des supports pour l'analyse DIC peut déterminer la caméra rapide

la mieux adaptée. Les speckles généralement utilisés pour la DIC créent de fines textures visuelles à fort contraste à l'aide de caméras hautes résolutions, et peuvent maintenir un nombre élevé d'images de qualité. Pour de nombreuses applications DIC, les caméras de 2 à 4 Mégapixels de résolution fonctionnant à plusieurs centaines d'images/seconde sont particulièrement bien adaptées.

La mesure de déformation ou de contrainte résultant d'un phénomène très rapide, tel qu'un impact ou une situation de chargement rapide, nécessite un type de caméra différent. Par exemple, un constructeur automobile peut utiliser la DIC pour mieux comprendre la réaction d'un panneau de portière métallique à divers types d'impacts simulant des situations réelles. Ces types d'applications nécessitent des caméras dont les capacités d'imagerie sont suffisamment rapides pour capturer l'évolution

Figure 3 : Configuration expérimentale complète



### Systèmes intégrés et logiciels de DIC : une nécessité ?

Les intégrateurs de systèmes proposent des ensembles DIC prêts à l'emploi intégrant non seulement la ou les caméras, le logiciel, et l'ordinateur, mais connectant également les résultats de la DIC aux dessins techniques, modèles de CAO et simulations par éléments finis. Pour la DIC, les systèmes intégrés sont principalement composés d'une ou plusieurs caméras et logiciels spécialisés. La plupart des logiciels DIC adoptent une approche agnostique : les intégrateurs proposent les caméras qui, selon eux, répondent le mieux aux besoins du client. Comme ces caméras jouent un rôle essentiel dans la fourniture des données principales, il est important de comprendre quelles caméras sont incluses dans un ensemble afin d'obtenir des résultats optimaux.

Selon la configuration utilisée, ces ensembles peuvent faire gagner un temps précieux, faciliter le processus de traitement, et guider l'utilisateur dans l'étalonnage, l'acquisition des images et l'analyse des données. Dans un environnement industriel où la DIC est régulièrement utilisée,

Intégrateur	Logiciel de DIC
Dantec Dynamics	Q-400-DIC Standard 3D
LaVision	StrainMaster 2D/3D DIC
Image Systems	TEMA DIC
Correlated Solutions	VIC-3D
GOM	ARAMIS
MatchID	MatchID 2D/Stereo
Holo3	Corelli <sup>STC</sup>

la façon de gérer l'acquisition et la gestion des données est particulièrement critique. Ces ensembles complets offrent donc tous ces avantages, mais pour un coût initial plus élevé. Une autre option consiste à acheter la ou les caméras seules, permettant aux scientifiques et ingénieurs de commencer à explorer les capacités de mesure à base de points 2D, mesures incluses dans la plupart des logiciels de contrôle des caméras. De cette façon, les scientifiques et les ingénieurs peuvent commencer à explorer les capacités de mesure à base de points en 2-D incluses dans la plupart des logiciels de caméra. Une fois familiarisés, ils pourront investir dans un logiciel de traitement DIC plus avancé et répondant pleinement à leurs besoins. Tous les intégrateurs proposent la possibilité d'acheter le logiciel seul, certains intégrateurs proposant uniquement le logiciel.

## Les caméras hautes vitesses démontrent la puissance de la Corrélation d'Images Numériques (DIC)

de la figure de speckle. L'étude d'un impact ou de situations de chargements rapides peut nécessiter un compromis en termes de résolution de la caméra afin d'obtenir le nombre élevé d'images par seconde nécessaire. Dans ce cas, on utilise préférentiellement des caméras capables d'atteindre plusieurs dizaines de milliers d'images par seconde avec une résolution de 1 Mégapixel ou moins.

Certaines applications, comme par exemple les tests vibratoires, destinés à caractériser la vibration potentielle d'un nouveau matériau de tableau de bord dans différentes conditions routières, nécessitent des caméras extrêmement rapides. La DIC peut mesurer les vibrations et la réaction d'un matériau ou d'une pièce à divers endroits du champ analysé. Ces applications nécessitent une caméra dont la capacité d'imagerie est au moins deux fois plus rapide que la fréquence de vibration mesurée. Cela signifie que l'analyse des hautes fréquences de vibrations — où la réponse aux vibrations est de l'ordre de milliers ou dizaines de milliers de hertz — nécessite une caméra pouvant fonctionner jusqu'à des centaines de milliers d'images par seconde.

**Figure 4 :** Configuration de la caméra Miro 310s pour une expérience



Image et vidéo reproduites avec l'aimable autorisation de S. Piland, PhD ; T. Gould, PhD ; University of Southern Mississippi.

**Figure 5 :** Vidéo de l'impact à 3 333 images/sec.

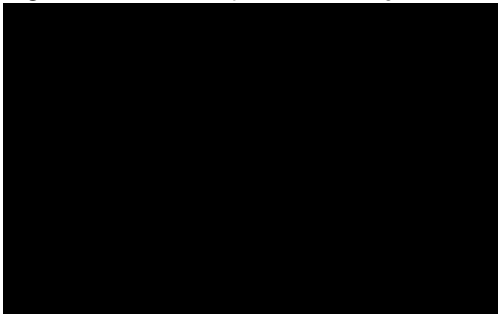


Image et vidéo reproduites avec l'aimable autorisation de S. Piland, PhD ; T. Gould, PhD ; University of Southern Mississippi.

L'éclairage peut également influencer les caméras utilisées en DIC. Si le matériau analysé est en plastique ou en caoutchouc, il est susceptible, sous hautes températures, de fondre ou de modifier ses caractéristiques physiques. L'application d'une lumière forte sur l'échantillon pourrait donc influencer sur la mesure. Une caméra sensible peut ainsi permettre de réduire la quantité d'éclairage nécessaire pour l'obtention de bonnes images. Il est important aussi de rappeler que de longues durées d'enregistrements en DIC peuvent produire une quantité importante de données. Aussi, les caméras dotées d'une interface de transfert de données à 10 Gigabits, ainsi qu'une intégration rapide avec un logiciel d'acquisition et d'analyse, permettent un rapide traitement des données.

### EXEMPLE DE SORTIE DIC ET DE CAPACITÉS

Des chercheurs de l'University of Southern Mississippi (USM) utilisent la DIC 3D pour évaluer les performances des casques de football américain, disponibles dans le commerce, en cas d'impacts francs. Cette expérience

**Figure 6 :** Vidéo de la contrainte principale due à l'impact

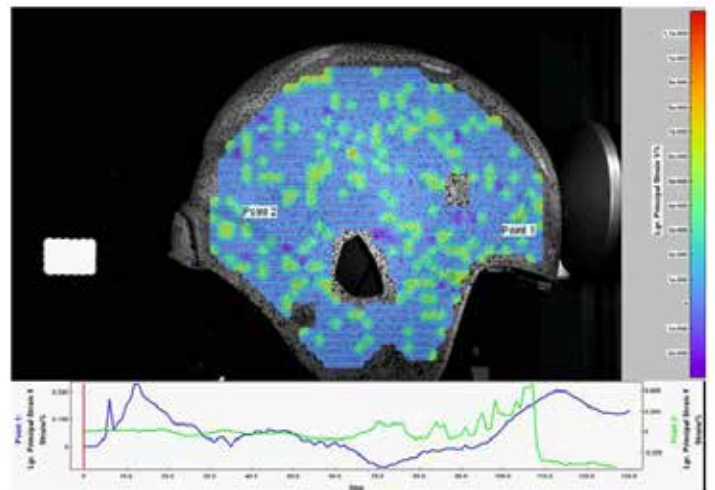


Image et vidéo reproduites avec l'aimable autorisation de S. Piland, PhD ; T. Gould, PhD ; University of Southern Mississippi.

**Figure 7 :** Vidéo du déplacement dû à l'impact

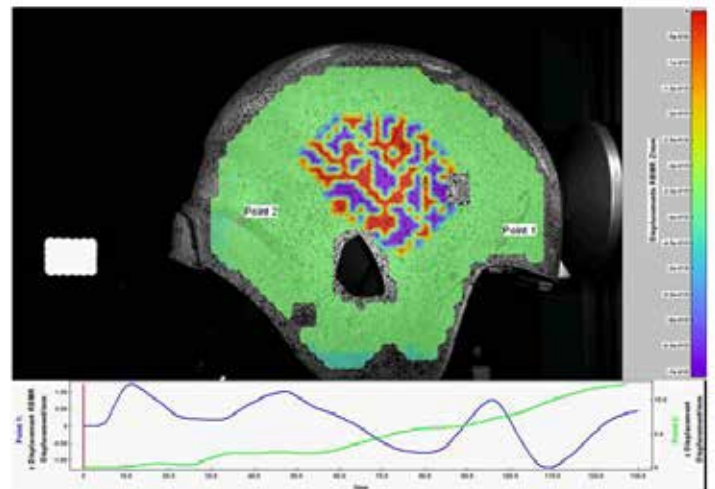


Image et vidéo reproduites avec l'aimable autorisation de S. Piland, PhD ; T. Gould, PhD ; University of Southern Mississippi.

## Les caméras hautes vitesses démontrent la puissance de la Corrélation d'Images Numériques (DIC)

consiste à placer un casque sur une table d'impact linéaire, attaché à une tête factice. Pour simuler l'impact, le casque est heurté par un dispositif de frappe sous pression et à vitesses élevées. Les chercheurs ont utilisé les modèles de caméras Phantom Miro 310s et Phantom v611s de résolution 1 Mégapixel, associées au logiciel DIC de Dantec. Les modèles Phantom Miro 310 et v611 sont des caméras de 1 mégapixel. La Figure 3 (voir page précédente) illustre la configuration complète de la DIC et la Figure 4 illustre la configuration des caméras de l'expérience.

Le casque est couvert d'une figure de speckle aléatoire, et l'impact est capturé par la caméra Phantom Miro 310s à 3 333 images/sec. La Figure 5 montre la vidéo de l'impact au ralenti.

Le logiciel Dantec, qui utilise des algorithmes de DIC, a permis de produire les vidéos correspondantes de la contrainte principale, du déplacement et de la contrainte tangentielle causés par l'impact. Les Figures 6, 7 et 8 montrent les vidéos correspondantes.

**Figure 8 :** Vidéo de la contrainte tangentielle due à l'impact

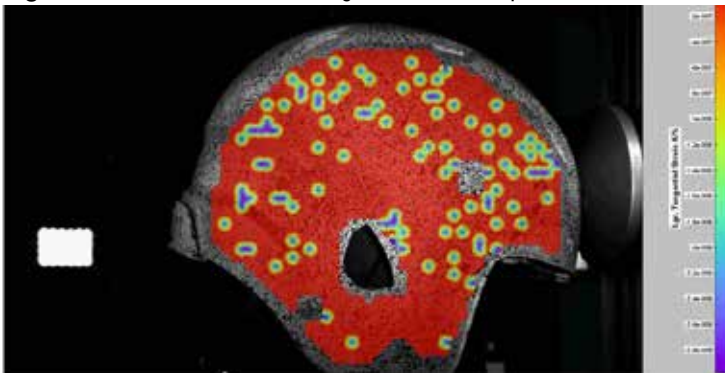


Image et vidéo reproduites avec l'aimable autorisation de S. Piland, PhD ; T. Gould, PhD ; University of Southern Mississippi.

La DIC 3D enrichit ces recherches par des données quantitatives sur les performances du casque entier en cas d'impacts francs, influençant ainsi le développement de casques potentiellement plus sûrs.

En résumé, la DIC peut fournir des informations quantitatives de mesure de champ sur la contrainte et les vibrations, informations qui ne sont pas disponibles avec d'autres techniques. Avec les caméras et les logiciels adaptés, cette technique flexible peut être utilisée pour mesurer des changements extrêmement rapides pour toute une série d'applications et peut considérablement étendre les résultats de recherche.

### Références

*Images des Figures 1 et 2 reproduites avec l'aimable autorisation de C.Y. Chang ; L.C. Chen ; W.C. Lee ; et C.C. Ma. 2015, Measuring Full-Field Deformation and Vibration Using Digital Image Correlation.*

*Figures 3-8 reproduites avec l'aimable autorisation de S. Piland, PhD ; T. Gould, PhD ; University of Southern Mississippi.*

*S.S. Rizo-Patron, 2015, Operational Modal Analysis of a Rotating Cantilever Beam Using High-Speed Digital Image Correlation, <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/34125>.*

*M. Jiang, C. Qian, W. Yang, 2016, Fish Body Surface Data Measurement Based on 3-D Digital Image Correlation, Proc. SPIE 9903, Seventh International Symposium on Precision Mechanical Measurements, 99030W; <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2211353>.*

*Y. Sieffert, F. Vieux-Champagne, S. Grange, P. Garnier, J.-C. Duccini, L. Daudeville, 2016, Traditional Timber-Framed Infill Structure Experimentation with Four Scales Analysis (To Connection from a House Scale) in Historical Earthquake-Resistant Timber Framing in the Mediterranean Area, Volume 1 of the series Lecture Notes in Civil Engineering, pp 287-297. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39492-3\\_24](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39492-3_24).*

*M. Palavicini, D.Z. Turner, M. Herzberg, 2016, Digital Image Correlation for Performance Monitoring, United States, <http://www.osti.gov/scitech/biblio/1238316>.*

### À PROPOS DE VISION RESEARCH

Vision Research conçoit et fabrique des caméras numériques hautes vitesses combinant les meilleures sensibilité, résolution, vitesse d'acquisition et qualité d'images nécessaires à l'analyse des déformations à grande vitesse d'objets lors des tests DIC. Vision Research est une entité de la division Materials Analysis d'AMETEK Inc.

Vision Research propose la plus vaste gamme de caméras rapides, répondant à tous les types d'applications, avec notamment la gamme polyvalente Phantom Miro, la série VEO, ainsi que la série de caméras à vitesse ultra-rapide. Les Phantom Miro sont des caméras hautes vitesses compactes, très résistantes, dotées de capteurs CMOS de 1, 2 ou 4 mégapixels, et facilement intégrables lors des prises de vue sous de multiples angles. La série Phantom Miro Lab a été spécifiquement conçue pour les applications de laboratoire où les vidéos à haute vitesse peuvent être immédiatement enregistrées sur un ordinateur à des fins de visualisation et d'analyse. La caméra ultra compacte Miro N5 peut être intégrée dans un espace restreint et acquérir une quantité de données encore plus importante avec des fichiers image immédiatement disponibles. La série Phantom UHS offre un maximum de 25 Gpx/seconde ainsi qu'une sensibilité exceptionnelle : elle est destinée aux applications nécessitant les performances les plus élevées.

La série Phantom UHS offre un maximum de 25 Gpx/seconde ainsi qu'une sensibilité exceptionnelle : elle est destinée aux applications nécessitant les performances les plus élevées.

**VISION**  
**RESEARCH**

**AMETEK**  
 MATERIALS ANALYSIS DIVISION

