



**HAL**  
open science

## Stéréo-corrélation d'image : Application aux vibrations d'une paroi mince en usinage

Marina Fazzini, Toufic Wehbe, Gilles Dessen, Lionel Arnaud, Sébastien Seguy

### ► To cite this version:

Marina Fazzini, Toufic Wehbe, Gilles Dessen, Lionel Arnaud, Sébastien Seguy. Stéréo-corrélation d'image : Application aux vibrations d'une paroi mince en usinage. Huitième Colloque International Francophone Méthodes et Techniques Optiques pour l'Industrie, Nov 2007, Arcachon, France. hal-03273469

**HAL Id: hal-03273469**

**<https://hal.science/hal-03273469>**

Submitted on 1 Jul 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Stéréo-corrélation d'image : Application aux vibrations d'une paroi mince en usinage

M. Fazzini, T. Wehbe, G. Dessein, L. Arnaud, S. Seguy

École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes

Laboratoire Génie de Production

47 avenue d'Azereix BP 1629 65016 Tarbes

{marina.fazzini ; toufic.wehbe ; gilles.dessein ; lionel.arnaud ; sebastien.seguy}@enit.fr

## 1. Introduction

La réalisation de pièces d'aubage ou de certaines structures aéronautiques, présentant des parois minces, engendre généralement des vibrations d'usinage. Ces phénomènes dégradent l'état de surface obtenu et réduisent la durée de vie d'outil ou de broche. Une démarche expérimentale visant à préciser les vibrations de paroi mince pendant l'usinage est présentée ici. Des mesures de champs par stéréocorrélation d'image associées à des mesures fréquentielles ponctuelles par accéléromètres, mettent en évidence le comportement de la paroi en fraisage radial.

## 2. Stéréo-corrélation d'images

La technique de corrélation d'images [1, 2] est une méthode optique sans contact de mesure de champs cinématiques. Elle consiste à mettre en correspondance deux images numériques d'une surface plane observée à deux états distincts de déformation, un état dit de "référence" et un état dit "déformé". Les images sont discrétisées spatialement par un capteur numérique et on obtient, pour chaque pixel, une valeur de niveau de gris. Le pixel homologue de la première image est déterminé dans la seconde mesurant la ressemblance entre deux pixels en maximisant un coefficient de corrélation sur leur voisinage. Cette technique est appelée appariement temporel. La technique de corrélation peut fonctionner correctement seulement avec des objets ayant une surface avec une texture suffisamment aléatoire. Si l'objet n'est pas naturellement texturé, diverses techniques existent pour déposer un mouchetis sur sa surface et permettre l'utilisation de la corrélation. La qualité des images et les niveaux gris appliqués sur les structures sont la base du calcul effectué par les logiciels de corrélation. Les niveaux de gris sont habituellement créés par l'application de peinture noire et blanche sur la zone de mesure.

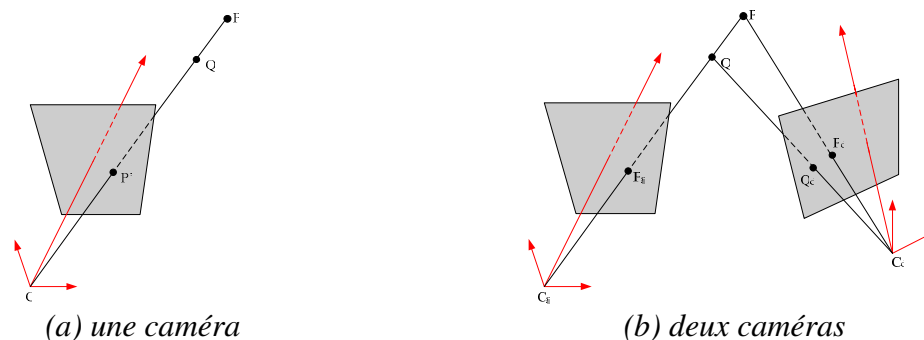


Figure 1  
Principe stéréoscopique

La corrélation d'image présente deux inconvénients principaux : elle ne permet de mesurer que des déformations planes, ensuite, d'un point de vue expérimental, elle nécessite que le plan de déformation et le plan image de la caméra soient parallèles et le restent pendant l'essai, ce qui est difficile à garantir. La technique de stéréo-corrélation d'images qui est présentée dans la suite apporte une solution à ces deux problèmes.

La stéréovision, décrite sur la figure 1 est basée sur le principe de triangulation qui nécessite de déterminer le correspondant d'un pixel de la première image dans la seconde et de calculer l'intersection des deux droites projectives (projection du point dans les plans des deux capteurs numériques). Le calibrage est l'étape fondamentale qui sert à déterminer tous les paramètres géométriques nécessaires au calcul de la transformation colinéaire : la distance et l'angle entre les caméras, la distance foyer/objectif. Il permet de quantifier les aberrations optiques afin qu'elles puissent être prises en compte dans les calculs. On utilise une plaque de calibrage de dimensions équivalentes à la surface de mesure, que l'on place à une distance de mesure fixe. Au cours de ce processus, plusieurs images de la plaque sont prises dans différentes positions. La plaque de calibrage est constellée de points blancs dont l'éloignement est connu. La précision obtenue au cours du calibrage est inférieure au pixel, ce qui correspond à une erreur de l'ordre du micron en déplacement.

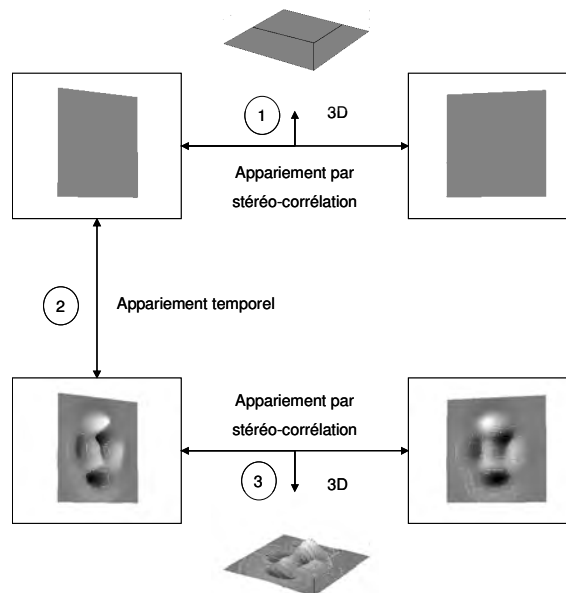


Figure 2

*Détermination du champ de déplacements 3D par stéréocorrélation*

L'appariement de deux images acquises, à un moment donné, par deux caméras stéréoscopiques différentes s'appelle appariement par stéréo-corrélation. La mesure des champs du déplacement 3D employant la stéréovision met en application simultanément l'appariement temporel et l'appariement par stéréo-corrélation (figure 2) [3, 4].

### 3. Procédure expérimentale

La pièce est une plaque rectangulaire (110x51mm<sup>2</sup>) en alliage d'aluminium, d'épaisseur 2mm, encastrée dans un étai. Elle est contournée avec une fraise cylindrique. Les conditions d'usinage choisies d'après [5] la rendent sujette à des vibrations. Cette modélisation utilisée ne prend pas en compte l'effet du contact de l'outil. Elle utilise les fréquences propres de la paroi encastrée libre, et les suppose de plus constantes tout au long de l'opération.



Figure 3  
Vue des deux faces de la pièce

Dans le cas des parois minces, l'état de surface nous informe des variations de comportement mais ne permet pas de préciser la dynamique exacte de l'usinage [6]. Dans l'objectif d'observer le comportement réel de la pièce pendant l'opération, deux moyens de mesure sont mis en parallèle (Cf. figure 3 et figure 4). Sur la face gauche de la pièce, quatre accéléromètres mesurent les fréquences des modes de vibration qui interviennent. Sur la face droite, un mouchetis est appliqué afin de réaliser des mesures de champs de déplacement hors plan par stéréo-corrélation d'images.

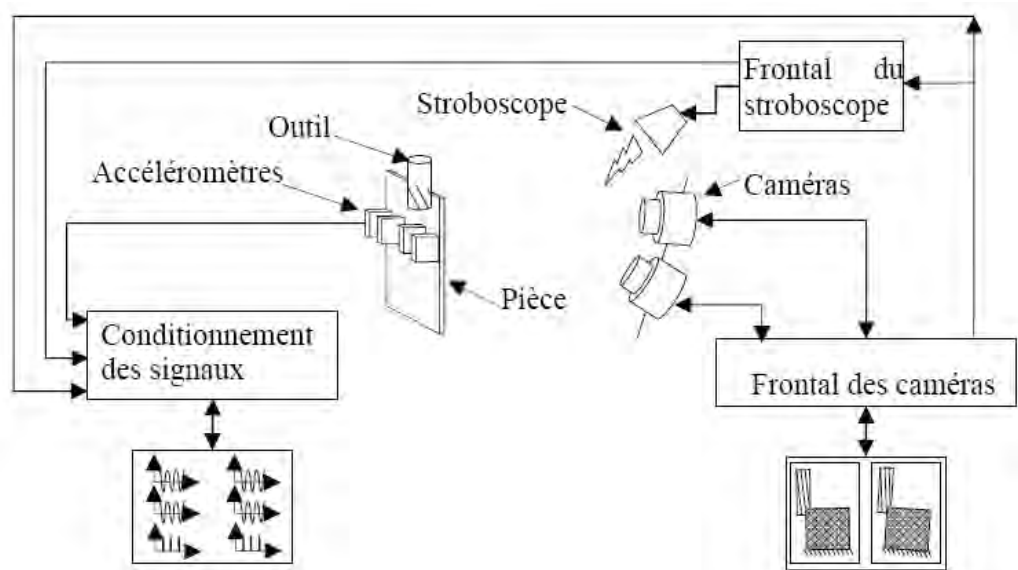


Figure 4  
Dispositif expérimental

Deux caméras numériques permettent d'acquérir des images numériques avec une définition de 1280 par 1024 pixels. La figure 5 nous renseigne sur la qualité du mouchetis. L'histogramme des niveaux de gris se rapproche d'un histogramme "idéal" avec une distribution sur toute la plage de valeurs (de 0 à 256 pour des images codées en 8 bits). La demi-hauteur de la fonction d'autocorrélation centrée et normée nous donne le rayon d'autocorrélation (ou taille moyenne des taches du mouchetis), ici de 1.5 pixels. Les images sont ensuite traitées avec le logiciel ARAMIS (GOM France). Grâce à ce dispositif il est possible de mesurer les déplacements et les déformations à la surface d'un objet avec une résolution de l'ordre du micron en déplacement et de 1000 à 2000  $\mu\text{m}/\text{m}$  en déformations.

Pendant la mesure, le mouchetis est figé par un stroboscope, lui-même asservi par le déclenchement en rafale des caméras. Les signaux du stroboscope (à 5 hertz) et des accéléromètres sont relevés dans le même référentiel temporel, commun aussi à l'usinage. Il est ainsi possible de relever précisément la position de l'outil pour chacune des images.

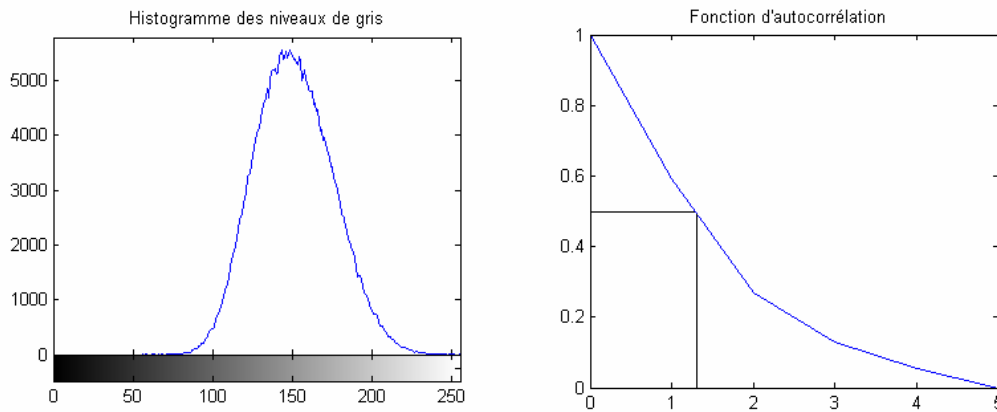


Figure 5  
Caractéristiques des images

#### 4. Résultats

Dans un premier temps, nous cherchons à tester le protocole de mesure en vibrations. Une excitation sinusoïdale à 272 hertz est alors imposée à la paroi. Notons, ici le point d'excitation par pot vibrant est fixe (figure 6) alors qu'en fraisage radial, l'excitation est couplée à l'avance de l'outil.

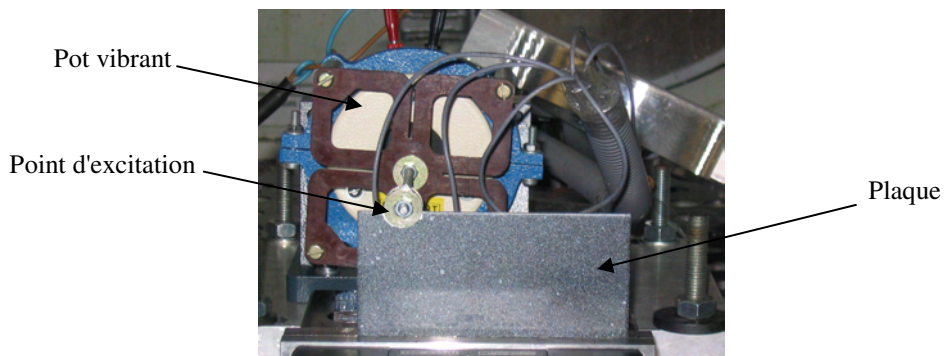


Figure 6  
Excitation par pot vibrant

Par la suite, nous observons le comportement de la paroi en réponse à une excitation mobile. Un outil spécifique permet de déplacer le long de la pièce un contact radial. Ce contact sollicite la pièce à 400 Hz en parcourant son bord libre à 3 m/min.

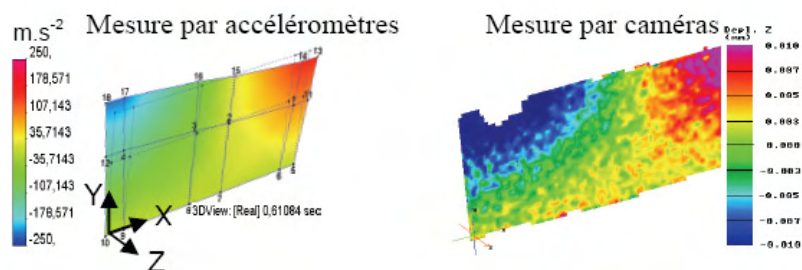


Figure 7  
Comparaison mesures par accéléromètre / mesures par stéréo-corrélation

En excitation sinusoïdale fixe, et en excitation mobile à 400Hz les accélérations mesurées servent à animer la paroi redessinée. Sa forme est comparée aux champs de déplacements mesurés au même instant (figure 7). La corrélation des formes montre que les

deux moyens de mesure sont en phase. A partir de ces premières observations, des mesures pendant usinage sont réalisées.

Après usinage, la pièce présente un état de surface hétérogène selon la direction d'avance. Il est divisé en plusieurs zones distinctes, dont la succession montre que le comportement vibratoire de la pièce n'a pas été constant durant l'usinage. Afin de comprendre le comportement réel de la pièce, les mesures par stéréo-corrélation d'image et par accéléromètres sont comparées sur chaque zone.

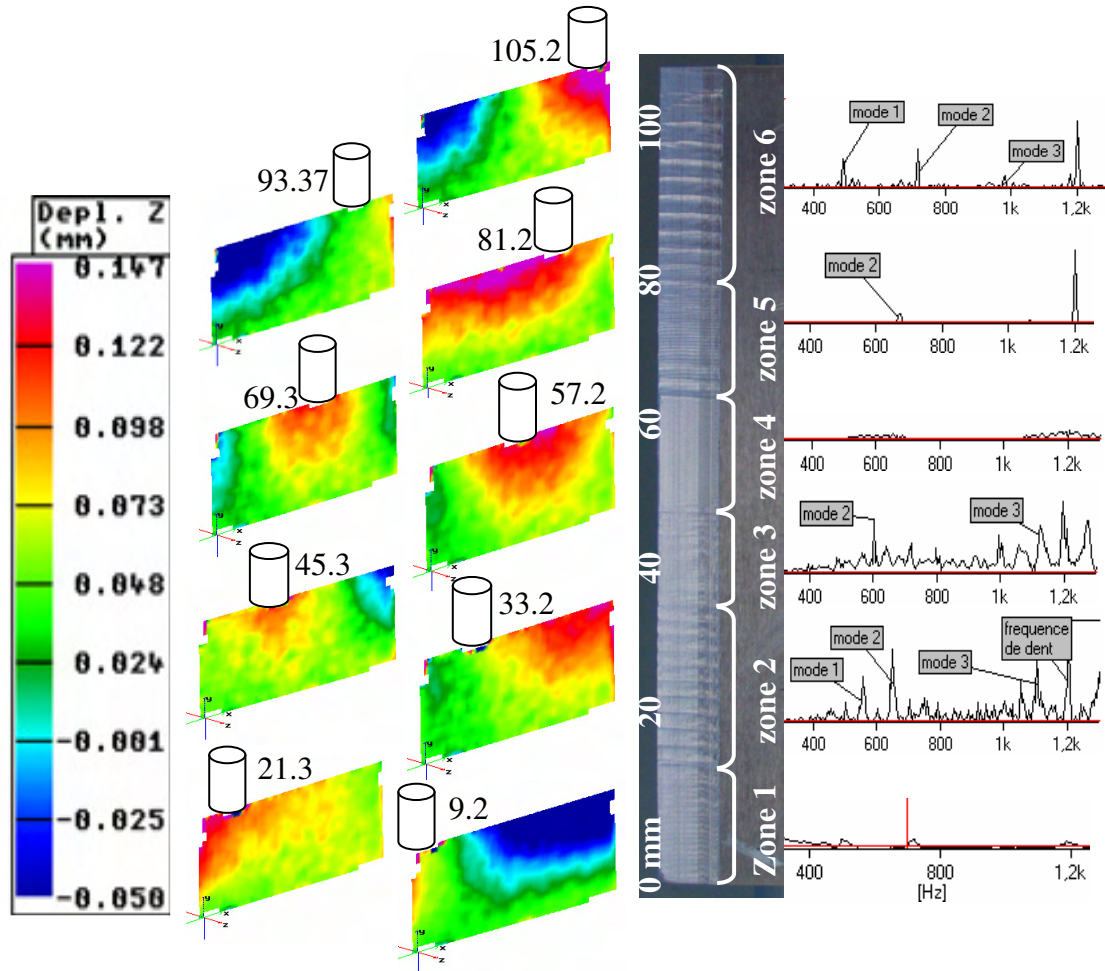


Figure 8  
*Champ de déplacement – état de surface – pics fréquentiels*

La figure 8 présente les déformées mesurées par stéréo-corrélation d'images et les pics de fréquences de vibration de la pièce relevés par les accéléromètres pour les différentes zones de l'usinage.

Pour la zone 6 (ente 80 et 110 mm) les accéléromètres relèvent trois modes de vibration, avec la prépondérance d'un deuxième mode. Il faut rappeler que le deuxième mode d'une paroi encadrée possède un nœud central et deux ventres antisymétriques aux extrémités. Le champ de déplacements à 105.2 mm montre clairement que l'image n'a pas été prise à un instant où la pièce repasse par sa position de référence. Cela permet de relever également la forme du deuxième mode, favorisé par une excitation sur son ventre (outil en fin de course). Ici une bonne corrélation s'établit entre mesures de champs et mesures fréquentielles.

## 5. Conclusion

L'objectif du travail est d'améliorer, par la mesure, la compréhension des vibrations d'usinage. Pour cela, des mesures fréquentielles par accéléromètres et des mesures de champs de déplacements en 3D par stéréo-corrélation d'image sont couplées.

Associées à des mesures fréquentielles, ponctuelles, les mesures de champs de déplacement par stéréo-corrélation d'images, permettent ici de remarquer que selon la position d'excitation, les modes réels en usinage ne sont pas toujours identiques aux modes d'une plaque encastrée libre. Les techniques ponctuelles, seules, ne mesurant pas les mouvements de la plaque dans son intégralité, ne permettent pas d'aboutir à ce constat.

## 6. Bibliographie

1. J.N. PERIE, S. CALLOCH, C. CLUZEL, F. HILD, « Analysis of a multiaxial test on a C/C composite by using digital image correlation and a damage model », *Experimental Mechanics*, vol. 42, n°3, 2002, p. 318-328.
2. B. WATTRISSE, A. CHRYSOCHOOS, J.M. MURACCIOLE, M. NEMOZ-GAILLARD, « Analysis of strain localization during tensile tests by digital image correlation », *Experimental Mechanics*, vol. 41, n°1, 2001, p. 29-39.
3. D. GARCIA, « Mesure de formes et de champs de déplacements tridimensionnels par stéréo-corrélation d'images ». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2001
4. J. J. ORTEU, « Mesure 3D de formes et de déformations par stéréovision », *Techniques de l'Ingénieur, traité génie mécanique*, BM 7015, 2002
5. E. BUDAK & Y. ALTINTAS, « Analytical prediction of chatter stability in milling part I general formulation », *Transaction of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 120, pp. 22-36, 1998
6. S. ASSOULINE, E. BEAUCHESNE, G. COFFIGNAL, P. LORONG & A. MARTY, « Simulation numérique de l'usinage à l'échelle macroscopique: modèles dynamiques de la pièce », *Mécanique et Industrie*, vol. 3, pp. 389-402, 2002