

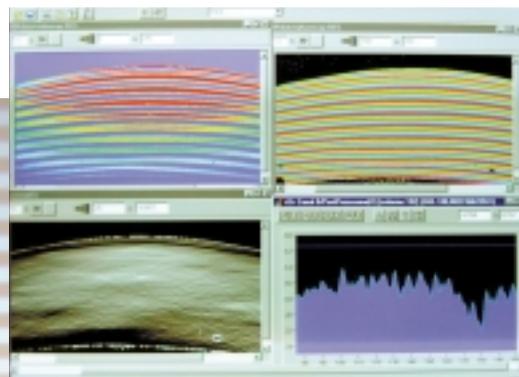
## CONTRÔLE OPTIQUE

# UNE AUTRE MANIÈRE DE "VOIR" LES DÉFAUTS DE SURFACE

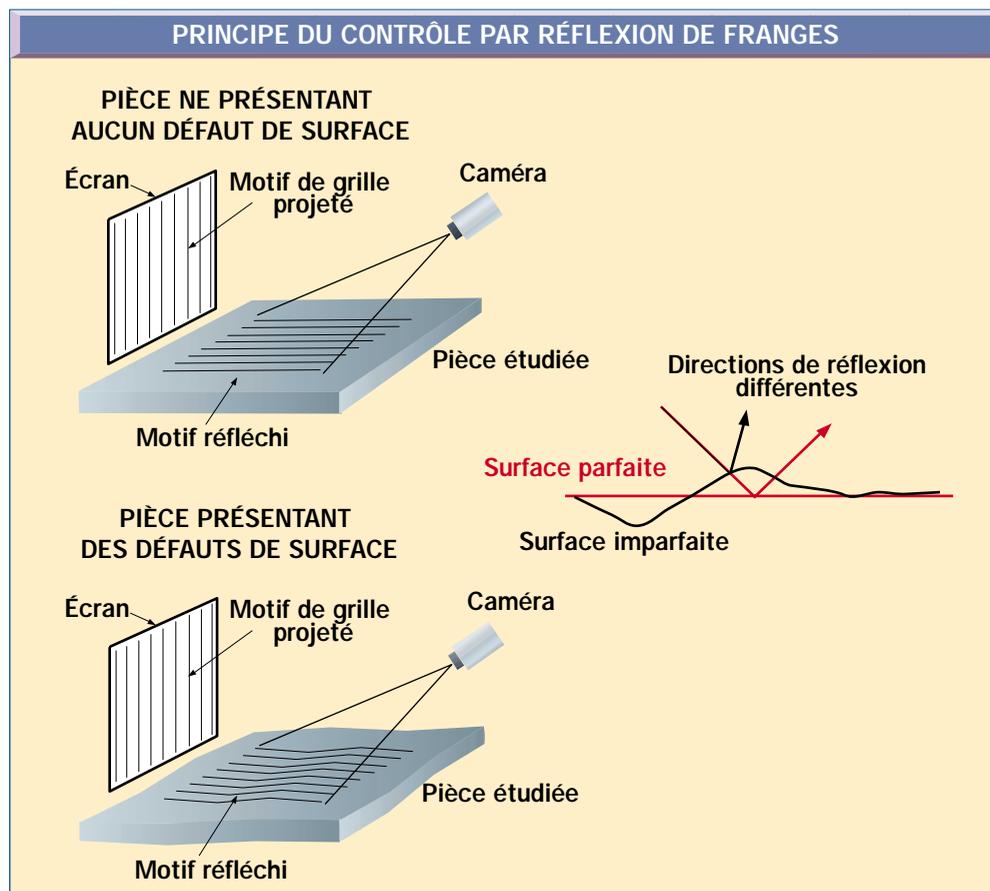
■ Pour caractériser l'aspect d'une surface, les méthodes optiques traditionnelles s'appuient sur la profondeur du défaut. Une nouvelle méthode, mise en œuvre par la société TechLab, détermine son rayon de courbure. Basée sur l'analyse de l'image d'un motif géométrique réfléchi par l'échantillon, la méthode est robuste, facile à utiliser et permet de contrôler l'aspect de tous types de surfaces réfléchissantes.

**O**ndulations, creux, bosses, rainures, peau d'orange... Dans le choix de l'utilisateur, les défauts de surface qui altèrent l'aspect extérieur d'un produit ont souvent autant d'importance que les défauts fonctionnels. C'est le cas par exemple dans le domaine de l'automobile, où l'aspect esthétique du produit joue un rôle capital. Il faut donc détecter les défauts qui se forment sur les pièces de carrosserie au cours de leur fabrication... et traquer ceux qui n'apparaissent qu'après l'application des différentes couches de vernis ou de peinture. On comprend d'entrée que la chose n'est pas simple.

Bien souvent, on fait encore appel à l'appréciation de spécialistes (appelés prosaïquement "palucheurs") qui touchent la surface étudiée avec un gant spécial afin d'en détecter les imperfections. Mais pour caractériser plus précisément les défauts, on comprend qu'il faille rechercher des techniques plus automatiques et moins subjectives.



**Le système Ondulo permet de caractériser les défauts d'aspect sur tous types de surfaces réfléchissantes. Un motif géométrique lumineux est projeté sur un écran. On analyse alors sa réflexion sur l'échantillon. Sur l'écran d'un PC (en médaillon), on visualise la déformation des reflets due aux défauts de surface.**



**Le contrôle par réflexion de franges consiste à observer, à l'aide d'une caméra CCD, la réflexion par l'échantillon d'un motif géométrique régulier projeté sur un écran. La déformation du motif révèle l'existence de défauts de surface.**

Les méthodes optiques trouvent alors tout leur intérêt. Elles permettent en effet d'inspecter rapidement de larges surfaces et fournissent des résultats sous forme d'images où la géométrie de la pièce est facilement reconnaissable.

Encore faut-il choisir le paramètre le plus adapté pour évaluer la qualité visuelle de la surface. Jusqu'à présent, la profondeur du défaut remportait tous les suffrages. Mais de récentes études effectuées à l'école des Mines de Saint-Étienne montrent que ce critère n'est pas le plus adapté. Considérons par exemple un creux de 20 µm d'amplitude "étalé" sur 60 mm. Ce défaut sera moins visible qu'un creux

moins profond (10 µm) mais étalé sur 20 mm. Autrement dit, le défaut le plus visible n'est pas le plus profond mais celui dont le rayon de courbure du cercle dans lequel il est inscrit est le moins important. Pour cette raison, il est intéressant de déterminer le champ de courbures à la surface de l'échantillon pour caractériser les défauts de forme et d'aspect.

C'est sur ce principe que repose le système Ondulo commercialisé par la société messine TechLab. Pour cela, il met en œuvre la vision par lumière structurée, qui consiste à utiliser une source de lumière blanche projetant sur la scène observée un motif géométrique régulier

(par exemple une grille constituée de traits alternativement noirs et blancs). Mais contrairement à la technique classique de projection de franges où le motif lumineux est projeté directement sur la surface étudiée, le motif est ici projeté sur un écran placé devant l'échantillon : il est alors réfléchi par l'échantillon et l'on analyse l'image réfléchie. L'échantillon se comporte comme un miroir, ou plus exactement comme un miroir déformant puisque les défauts de courbure de la surface de l'échantillon déforment l'image du motif projeté.

Le contrôle par réflexion de franges permet de caractériser les défauts de forme, de texture et d'aspect de tous types de surfaces réfléchissantes ou pouvant être rendues réfléchissantes. Par rapport aux techniques optiques traditionnelles (interférométriques, holographiques, etc.), la méthode présente deux avantages de taille : elle est moins sensible à l'éclairage ambiant et plus simple à mettre en œuvre.

## Un contrôle par réflexion de franges

Le champ de courbures à la surface de l'échantillon est obtenu en associant l'observation de l'image réfléchie du réseau de franges projeté et la technique du décalage de phase.

Le principe est en réalité moins compliqué qu'il ne paraît. La lumière réfléchie par l'échantillon se présente sous la forme d'un champ d'intensité lumineuse représentant des franges. En chaque point du champ de mesure, l'intensité lumineuse  $I$  s'écrit en fonction de l'intensité locale moyenne  $I_0$ , du contraste  $\gamma$  des franges et de la phase  $\phi$  du point considéré :

$$I(x,y) = I_0(x,y) \times [1 + \gamma(x,y)\phi(x,y)]$$

C'est le paramètre  $\phi(x,y)$  qui varie lorsque les défauts de surface engendrent une déformation du système de franges. Il faut alors employer une technique de décalage de phase afin d'extraire ce paramètre du champ d'intensité. Pour cela, le motif projeté est déplacé par une translation de pas constant, ce qui entraîne un décalage des images de franges apparaissant à la surface de l'échantillon. En enregistrant les images de franges successives, on détermine alors le champ de phase correspondant aux figures de franges.

Une fois le champ de phase déterminé, il est possible d'obtenir une cartographie des courbures à la surface de l'échantillon. En effet, la dérivée de la phase suivant un

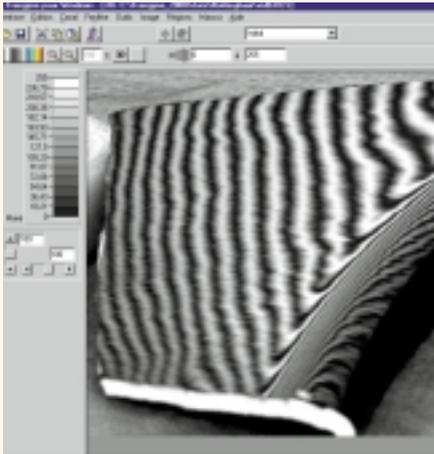
## Rapidité et robustesse

■ Le système Ondulo commercialisé par la société TechLab offre l'intérêt d'être facilement transportable. Constitué d'un vidéoprojecteur, d'un écran, d'une caméra CCD et d'un PC (équipé du logiciel de traitement d'images Frangyne 2000), Ondulo révèle les défauts de surface avec une précision de l'ordre du micromètre. Le temps d'analyse n'excède pas quelques secondes.

De plus, la robustesse de la méthode employée lui permet de s'adapter aussi bien aux besoins des laboratoires qu'aux mesures en ligne de production. Le champ d'étude s'étend de 1 mm<sup>2</sup> à 2 m<sup>2</sup> en version standard (une seule caméra), mais il est possible d'agrandir ce champ en disposant de plusieurs caméras CCD.

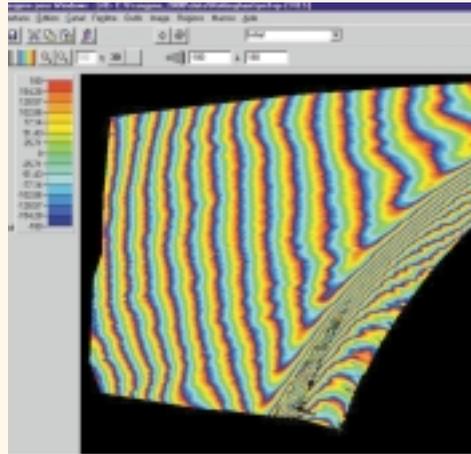
## De la lumière réfléchi à l'analyse des défauts de surface

### Etape 1



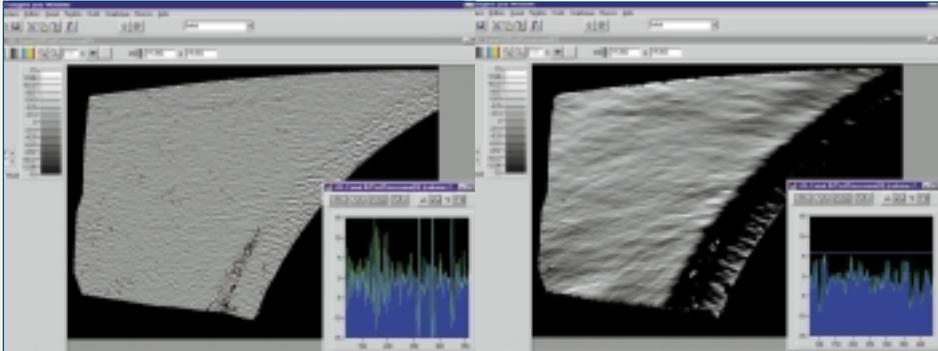
On observe la réflexion du motif géométrique lumineux projeté à la surface de l'échantillon. Les défauts de surface (ondulations, rainures, etc.) créent une déformation des reflets.

### Etape 2



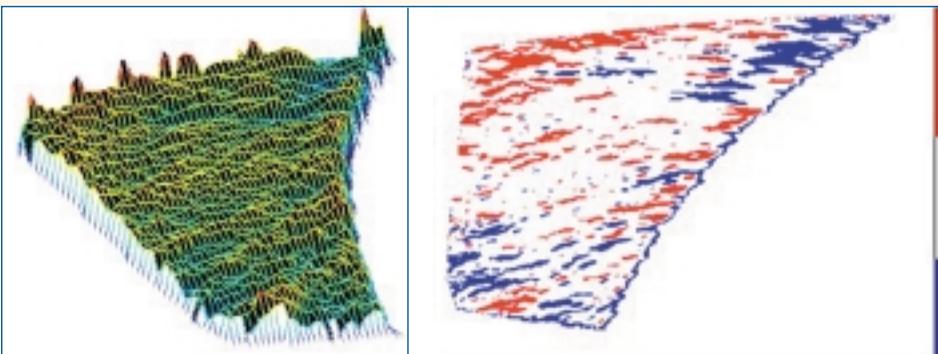
Le logiciel d'analyse des franges lumineuses permet d'obtenir le champ de phase à la surface de l'échantillon.

### Etape 3



La dérivée en tout point du champ de phase donne le champ des courbures qui sont à l'origine de la déformation des reflets. Suivant le filtre utilisé, il est possible de mettre en évidence la texture (photo de gauche) ou les défauts de forme (photo de droite) de la surface étudiée.

### Etape 4



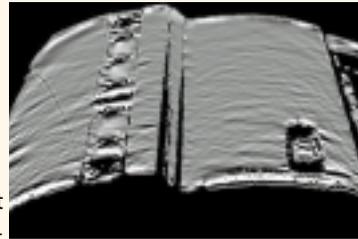
Le logiciel permet de dresser une cartographie en deux ou trois dimensions de la surface étudiée (photo de gauche) et de réaliser une analyse statistique des défauts de surface (photo de droite).

## Le contrôle par réflexion de franges... pour quoi faire ?

■ La technique de réflexion de franges mise en œuvre dans Ondulo peut être envisagée dans de nombreuses applications industrielles : contrôles de défauts sur des emboutis automobiles bruts ou peints, des pièces plastiques, des verres, etc. Elle permet aussi de juger de la qualité d'une peinture.

### 1 - Pièces de carrosserie, moules, outils d'emboutissage...

Ondulo permet de caractériser en quelques secondes les défauts de surface de pièces de carrosserie automobiles peintes ou nues : défauts de forme autour des poignées de portes, des abords de coins de vitre ou des contre-galbes, ondulations de bords, etc. Il est notamment possible de sélectionner une zone autour du défaut observé et de dresser le profil de la surface à cet endroit afin d'avoir une idée de la sévérité du défaut.



D'autre part, Ondulo peut être utilisé pour caractériser les défauts de surface de pièces plastiques ou de composites. Ainsi, il peut être utile d'étudier en parallèle la surface d'un moule et celle des pièces produites afin d'établir l'origine des défauts : si les profils des surfaces correspondent, le défaut de la pièce provient du moule et non du process de fabrication. De même, l'analyse de la surface d'un outil d'injection plastique permet de

savoir rapidement si les variations de courbures à l'origine des défauts proviennent de l'outil ou du process (température, pression, etc.). De tels contrôles peuvent être effectués

lors de la réception de l'outil ou au niveau de la fabrication.

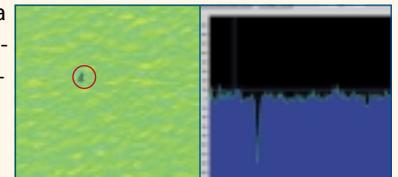
Enfin, au-delà de ces contrôles ponctuels, Ondulo permet de suivre tout le processus de fabrication, du moule à la pièce

finie. Pour cela, il suffit de cartographier l'état de surface de l'outil pour le classer comme état de surface de référence, puis d'effectuer des mesures ponctuelles sur différentes pièces de la production et d'en comparer les champs de courbures. Si les défauts sont classés "hors tolérance", on effectue alors des mesures comparatives sur l'outil, avec celui dont l'état de surface sert de référence. On peut ainsi déterminer l'emplacement des défauts de formes et rectifier la surface.

### 2 - Evaluer la qualité d'une peinture

Le contrôle par réflexion de franges s'applique bien à la détection des défauts de surface de pièces peintes. Ainsi, il est possible de mesurer le tendu de la peinture utilisée, d'en détecter les inclusions ou les poussières.

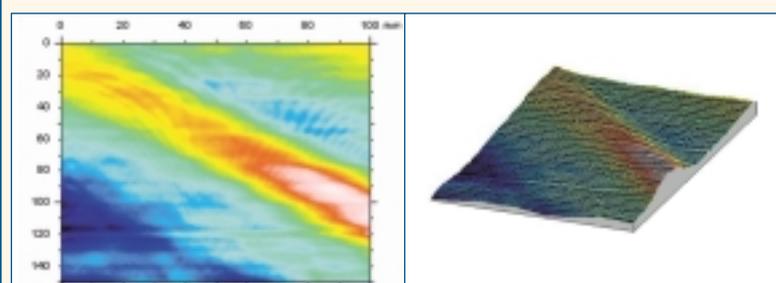
D'autre part, l'examen de la texture de la surface permet de connaître l'influence des fibres sur la qualité de la peinture finale.



### 3 - Contrôler des verres et des miroirs

Ondulo peut faire l'objet de nombreuses applications industrielles dans le contrôle des surfaces réfléchissantes, telles que les verres ou les miroirs. Dans ce cas, il est possible de travailler en transmission et non plus en réflexion pour analyser les défauts de forme sur les vitres et les pare-brise de véhicules. Des études portent ainsi sur la déformation de l'image réfléchie des rétroviseurs intérieurs et extérieurs due à un écart à la courbure.

D'autre part, il est possible d'étudier les défauts de verres "plats" (obtenus par étirage du film de verre sur un bain d'étain fondu) : Ondulo permet de repérer les défauts de forme et d'aspect jus-



qu'à 1 µm d'amplitude (en terme de rayon de courbure) et de les répertorier par ordre de sévérité.

## Un large choix d'instruments de mesure

■ Créée en 1994 à Metz, la société *TechLab* est spécialisée dans la conception et la distribution d'équipements de mesure et de contrôle. Elle fournit aussi des matériaux de référence certifiés pour les contrôles qualité (solutions étalons pour l'analyse chimique, aluminium, etc.). La société commercialise entre autres le système Asame (développé par la société américaine *CamSys*) pour la mesure de déformations sans contact. Elle

distribue également des logiciels d'analyse d'images, des appareils pour la mesure de microdureté, des télémètres laser, etc. *TechLab* emploie aujourd'hui une dizaine de personnes et a réalisé en 2000 un chiffre d'affaires d'environ 8 MF.  
*TechLab*  
Saint-Julien-Lès-Metz - BP 30055  
57072 Metz Cedex 3  
Tél. : 03 87 75 54 29 - Fax : 03 87 36 23 90

axe parallèle à la surface de l'échantillon est directement proportionnelle aux courbures qui donnent lieu à la déformation des reflets.

« *Le point fort de la méthode réside dans sa faible sensibilité aux variations de la luminosité extérieure* », souligne Gérard Baseotto, p.-d.g. de *TechLab*. En chaque point du champ, seul le décalage de phase est pris en compte. Les autres paramètres (intensité locale moyenne, contraste) sont automatiquement soustraits. Les inhomogénéités de luminosité et les variations de contraste n'ont donc pas d'influence dans le traitement des figures de franges. D'autre part, un phénomène de levier optique rend la méthode plus sensible que la technique classique par projection de franges. Autrement dit, une faible variation des courbures à la surface de la pièce engendre une importante déformation des figures de franges.

### Cartographier les surfaces réfléchissantes

Cette méthode est mise en œuvre dans le système Ondulo grâce à un logiciel d'analyse de figures de franges développé par le professeur Yves Surrel (aujourd'hui au CNAM BNM). Une fois le champ de courbures obtenu, il est possible de dresser une cartographie en deux ou trois dimensions de la surface étudiée, et de réaliser une analyse statistique afin de caractériser plus finement les défauts. On peut aussi réaliser une coupe de l'image et compter les ondulations qui apparaissent.

L'application de filtres passe-haut ou passe-bas sur le champ de courbures obtenu met en évidence différents types de défauts : on parle alors de texture (fibres) ou de défauts de forme (ondulations, creux, picots, etc.). Ainsi, en employant la méthode sur des pièces peintes, il est possible de déterminer l'influence des fibres sur la qualité de la peinture.

Les performances de la méthode dépendent toutefois de la réflectivité des surfaces étudiées. « *Les miroirs, les pièces peintes ou les outils d'emboutissage, par exemple, sont particulièrement bien adaptés à l'analyse optique par réflexion de franges* », indique M. Baseotto. De même, on peut contrôler la fabrication de moules d'injection plastique ou comparer les états de surface de la pièce et du moule pour déterminer l'origine des défauts. (Voir notre encadré "le contrôle par réflexion de franges, pour quoi faire?").

En revanche, la détection de défauts sur des tôles nues (moins réfléchissantes que des tôles peintes) est parfois problématique, étant donné l'aspect diffusant de la surface. Dans ce cas, il faut déposer un liquide révélateur à la surface de l'échantillon pour accroître la réflectivité de la surface.

En effet, moins l'échantillon est réfléchissant, plus il est nécessaire de réduire l'angle entre l'axe de la caméra CCD et le plan de l'échantillon. Ceci a pour effet "d'aplatir" le champ de mesure et de diminuer la résolution spatiale dans le sens vertical. Une autre conséquence de la mesure sous incidence rasante intervient lorsque les défauts sont trop importants et qu'ils cachent ceux qui se situent derrière eux. La mesure devient alors impossible, ce qui se traduit par des sauts de franges sur l'image vidéo.

Toutefois, malgré ces limitations, la méthode de contrôle par réflexion de franges reste relativement simple à mettre en œuvre. Une ou plusieurs caméras CCD montées sur un trépied, un écran et un vidéoprojecteur suffisent. En quelques secondes, on connaît la courbure des défauts de surface de la zone inspectée...

Marie-Line Zani

Certains éléments de l'article sont extraits de la thèse de Nicolas Fournier soutenue en 1998 à l'école des Mines de Saint-Étienne sur le "développement de méthodes optiques pour la mesure de champs cinématiques sur des structures".