

3D MODELLING 2004
28 and 29 April 2004 9th edition
UIC – 16 rue Jean Rey – Paris 15th

NUM 3D : INDUSTRIAL & DESIGN

English :

Digitizing and reverse engineering of small objects: Watch industry applications

ABSTRACT :

The watch industry offers delicate problems of three-dimensional scanning: the parts are of small size, fragile and reflective. If mechanical digitalization is hardly possible because of the size and the fragility of the sought details, the optical methods pains with the problems of reflexion. Moreover requirements in term of precision are very high. We will discuss some applications carried out in this field:

- The preparation of jewellery setting on 5 axis milling machine requires a precise definition of the workpiece.
- The control of special cutting tools with work dimension of less then 1 mm.

Author:

Jacques RICHARD, is teaching at the University of Applied Sciences of Geneva.

Francais:

Numérisation et rétro conception de pièces de petite taille: Applications horlogères

RESUME :

Le monde horloger offre des problèmes délicats de relevé tridimensionnel de formes : les pièces sont de petite taille, fragiles et réfléchissantes. Si la numérisation mécanique n'est guère possible du fait de la taille et de la finesse des détails recherchés, les méthodes optiques peinent sur les problèmes de réflexion. De plus les exigences en termes de précision sont très élevées.

Nous discuterons quelques applications réalisées dans ce domaine:

- préparation du travail de sertissage sur centre d'usinage 5 axes nécessitant un relevé précis des formes.
- contrôle d'outil de taille de pignons de dimension utile inférieure au mm.

Auteur:

Jacques RICHARD, enseigne à l'EIG HES-SO , (Ecole d'Ingénieurs de Genève , Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale).

Les besoins de numérisation 3D dans le monde horloger

Le monde horloger est essentiellement décrit par des formes 2D1/2 : les pièces du mouvement mécanique, rouages, platines, sont en général bien décrites par leur profil. Pourtant le besoin de modèle véritablement 3D se fait sentir dans l'habillement (design et formes esthétiques de boîtiers), ainsi que dans quelques cas de pignons et d'outils permettant leur fabrication.

Dans tous ces cas, les pièces sont petites, voire très petites. Les matériaux les constituant (acier, or, saphir, diamant, ...) sont réfléchissants ou même transparents. Enfin les exigences en termes de précision sont évidemment élevées.

La taille des pièces et la finesse des détails rendent la digitalisation mécanique problématique, voire impossible, alors que les qualités réfléchissantes ou transparentes des surfaces posent de sérieux problèmes aux méthodes de numérisation optiques.

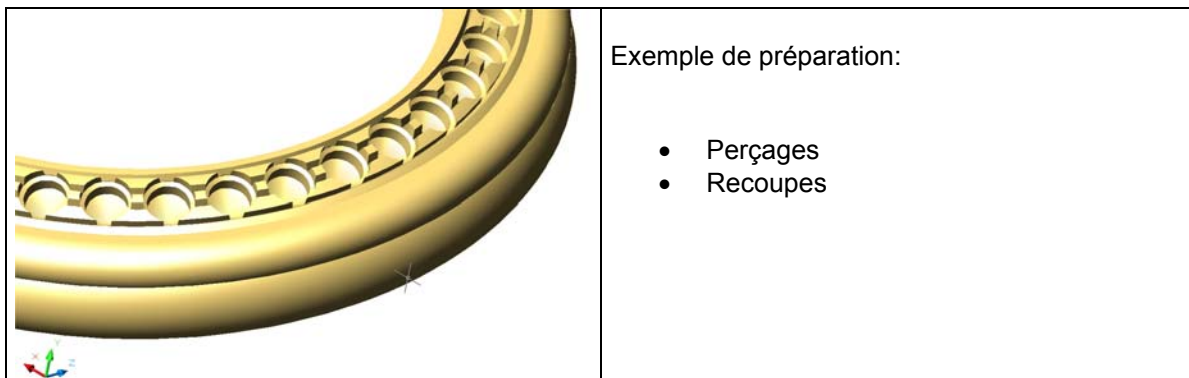
Nous allons étudier deux applications particulières, l'une dans l'habillement, l'autre dans le mouvement :

- Numérisation et reconstruction de surface d'une carrure pour le sertissage.
- Contrôle d'outil de taille de pignons de dimension utile inférieure au mm

Numérisation 3D de pièces horlogères d'habillement en vue de sertissage

Quelques mots sur les travaux de préparation au sertissage

Les travaux de préparation pour le sertissage de pierres précieuses sur un boîtier de montre sont de plus en plus souvent effectués sur des centres d'usinage 5 axes. Les trajectoires de l'outil doivent être très précises et régulières.



On distingue sur cette illustration les perçages destinés à accueillir les brillants ainsi que quatre gorges, aussi dénommées recoupes. Les îlots trapézoïdaux de matière restante formeront les griffes destinées à assurer le maintien des pierres. Ce sont les perçages et recoupes qui peuvent être réalisés à la machine sur des centres d'usinage 5 axes. Le travail d'empierrement est terminé à la main à l'aide de burins spéciaux.

Concernant les recoupes, la définition de la trajectoire de l'outil doit satisfaire aux conditions géométriques suivantes: profondeur constante et axe outil normal à la surface. Il va de soi que cette trajectoire doit être précise et régulière.

Dans bien des cas la forme de la carrure est définie en termes de primitives géométriques par une CAO et donc décrite par une série de surfaces élémentaires utilisées lors de la construction du modèle virtuel (plans, cônes, cylindres, sphères, congés, voire NURBS). Dans le cas où le processus de fabrication est bien maîtrisé au niveau FAO (usinage par tournage ou fraisage, réalisation des outils d'étampes sur CN), les trajectoires 5 axes peuvent être aisément générées à l'aide du modèle CAO.

Cependant il existe un certain nombre de cas où un tel modèle n'existe pas ou ne correspond plus de façon assez précise à la carrure à ce stade de fabrication.


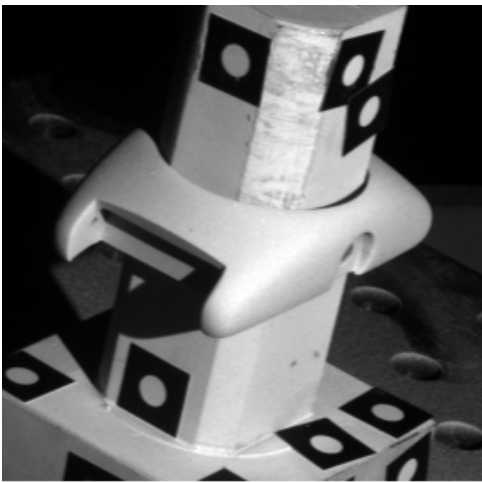
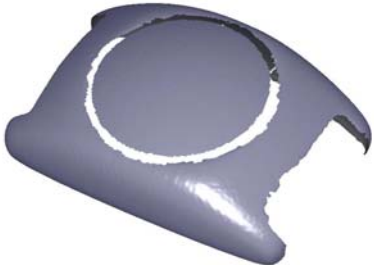
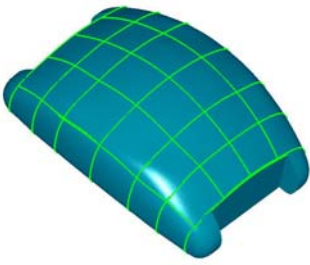
Définition de la forme et de l'empierrement d'une carrure de forme gauche:

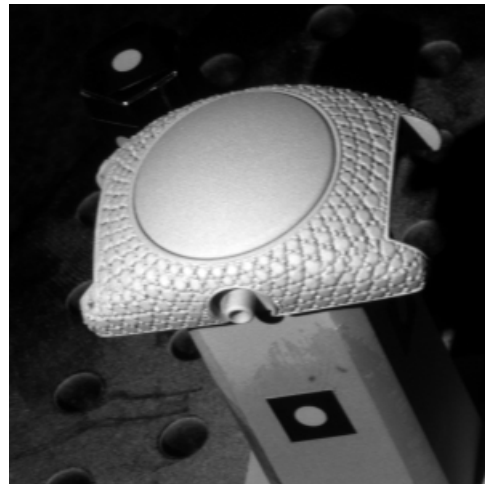
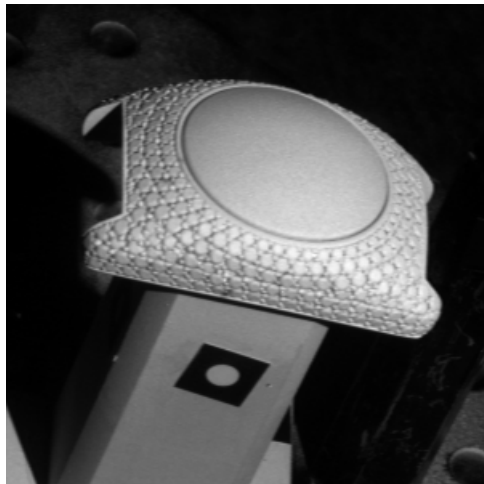
Dans le cas ici présenté, la carrure à ce stade de fabrication avait été réalisée de façon semi-artisanale : les étampes avaient été fabriquées selon un prototype fait à la main et une première carrure avait aussi été sertie à la main, ce qui avait représenté une semaine de travail. Pour la réalisation d'une petite série, il était important que la préparation du sertissage puisse être faite à la machine (le temps d'usinage sur CN 5 axes des perçages et recoupes est typiquement de quelques minutes).

La numérisation et la reconstruction de surface avait comme étapes :

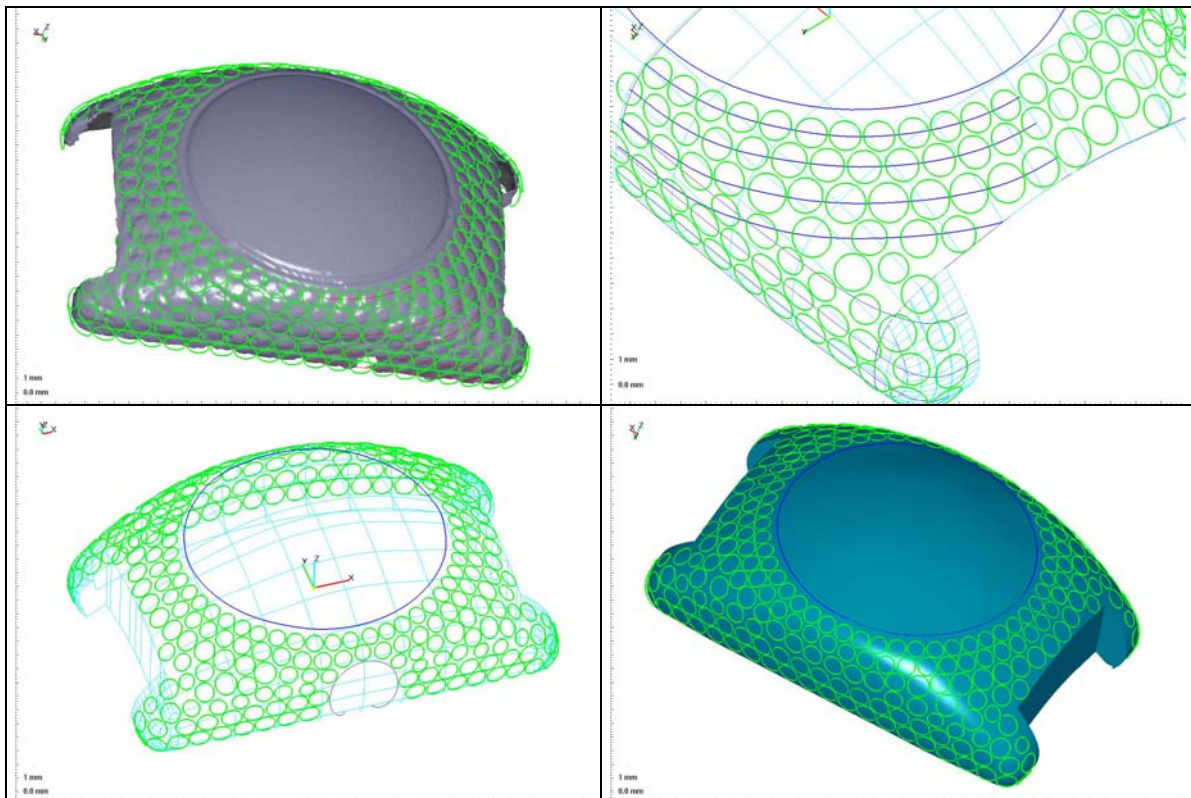
- Définition de la géométrie exacte d'une carrure de forme gauche
- Définition de l'empierrement sur une carrure de forme gauche

La précision requise pour ce travail était de l'ordre de 0.02 mm, la profondeur typique des perçages et recoupes étant de 0.25mm à 0.5mm. Pour cela nous avons utilisé le système de numérisation optique à lumière structurée blanche (ATOS gom), après avoir très légèrement et de façon uniforme blanchi les carrures ; ce voile blanc ajoute certes une petite surépaisseur, mais il est facile d'en tenir compte. Il est par contre essentiel de réaliser une grande cohérence géométrique entre les différentes prises de vue, ce qui est assuré par le repérage photogrammétrique des vignettes.

	
	
<p>Numérisation d'une carrure avant le sertissage</p>	<p>Reconstruction de surface de la carrure avant le sertissage</p>



Relevé de la carrure sertie



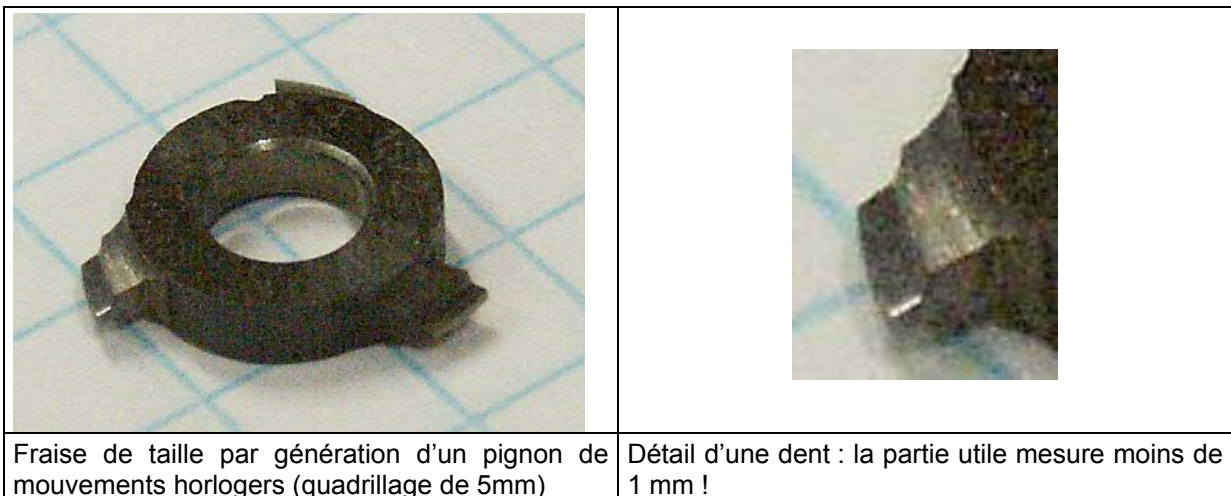
Le relevé photo de l'empiècement est repris en 3D , il sert de base a la modélisation du modèle virtuel. La définition du pavage est optimisée à l'aide de différentes fonctions géométriques.

Numérisation 3D d'outil de taille de pièces de mouvements horlogers

Abordons maintenant le cas de pièces du mouvement : si dans la plupart des cas leur géométrie peut être décrite par des profils 2D, la forme d'un engrenage de pignon est véritablement tridimensionnelle. Ces pièces sont très petites, leur taille étant de l'ordre du millimètre. Nous allons prendre comme exemple un outil de coupe destiné à tailler un pignon. La précision requise pour un tel travail est de l'ordre du micron, c'est une échelle où la nature ondulatoire de la lumière se fait sentir car on approche des longueurs d'ondes du spectre visible.

Le cas d'une fraise horlogère

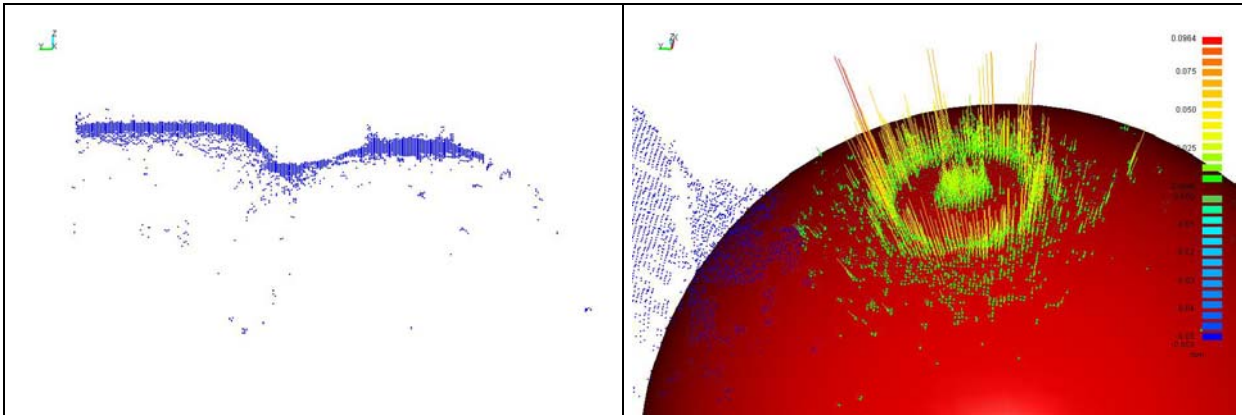
Vue de l'objet dans son ensemble:



Pour numériser une telle pièce il fallait une méthode qui ne nécessite pas de blanchir la pièce et permettant d'acquérir des points d'une grande densité spatiale (1pt/0.01mm). Nous avons donc choisi de réaliser le relevé le forme à l'aide d'un capteur utilisant un principe de mesures confocales par codage chromatique (STIL). Le crayon optique (dont il faut choisir la focale en fonction de la profondeur du relief) balaie une aire prédéterminée enregistrant des altitudes avec une certaine fréquence. Il en résulte donc une grille de points. La réalisation d'un petit posage fixant la fraise à 3 sphères de références nous a ainsi permis de rassembler en une seule numérisation les balayage de la face supérieure et inférieure.

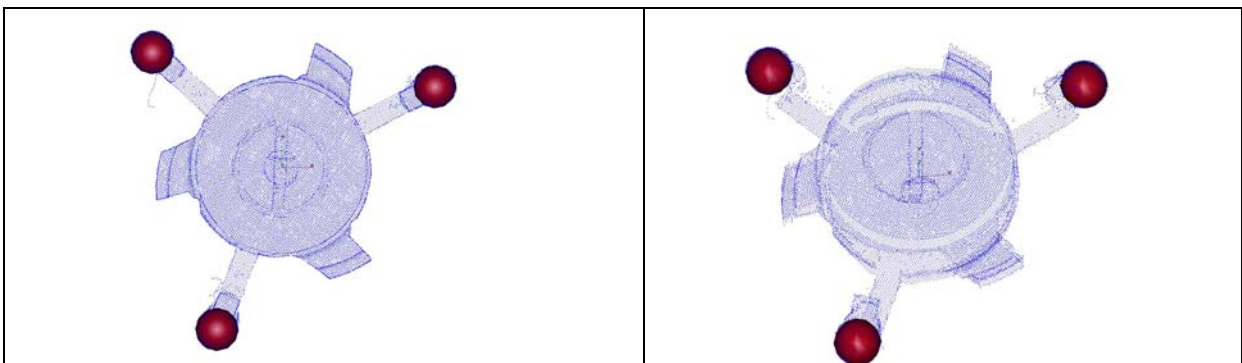
Problèmes de réflexions sur les sphères

Pour obtenir un bon repérage du centre des sphères, il a fallu tout de même résoudre des problèmes induits par la réflexion du faisceau sur la surface de la bille.



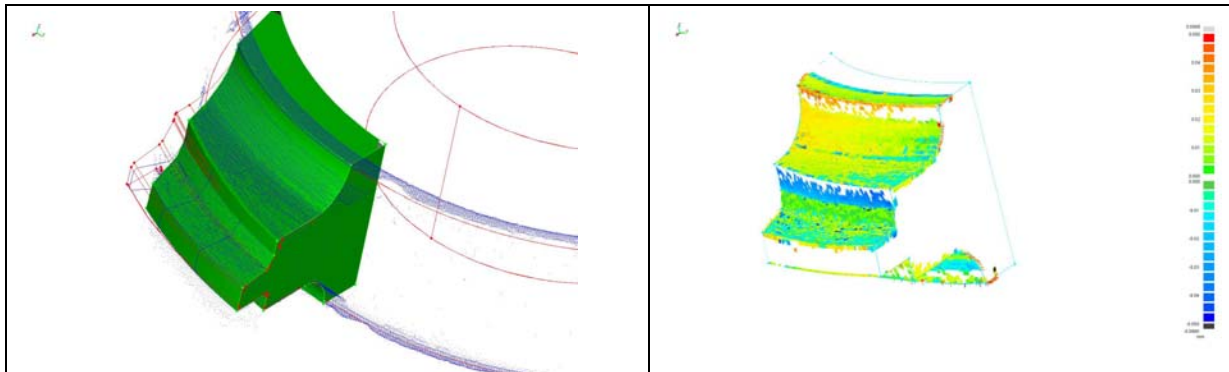
La bille agit comme un miroir sphérique et perturbe la mesure. On constate un effet « éclat de goutte ». Pour une bille d'un diamètre de 2mm, la perturbation est de l'ordre de 0.05 mm. Cette difficulté a été résolue en rendant un peu plus mate la surface des sphères.

Mesures à l'aide d'un crayon optique de profondeur de champs de 3mm



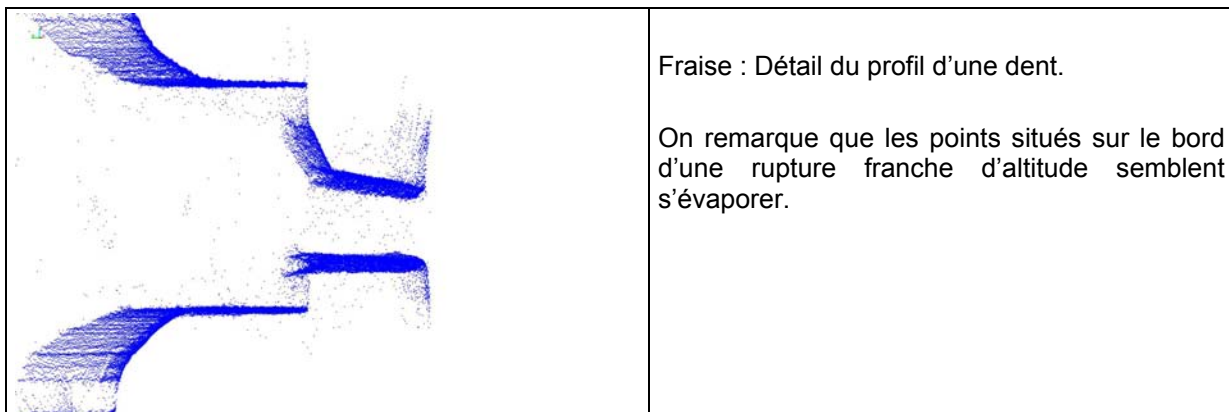
Voici une rapide analyse graphique (ici un échantillonnage des points) : on observe que la forme de la fraise horlogère est bien captée.

Analyse et vérification de forme



Le détail d'une dent tient dans un cube de 2mm de côté.
 La numérisation a permis une analyse détaillée de l'outil: en particulier les angles de coupe et de dépouille ont pu être vérifiés.

Effets de bords



Fraise : Détail du profil d'une dent.
 On remarque que les points situés sur le bord d'une rupture franche d'altitude semblent s'évaporer.

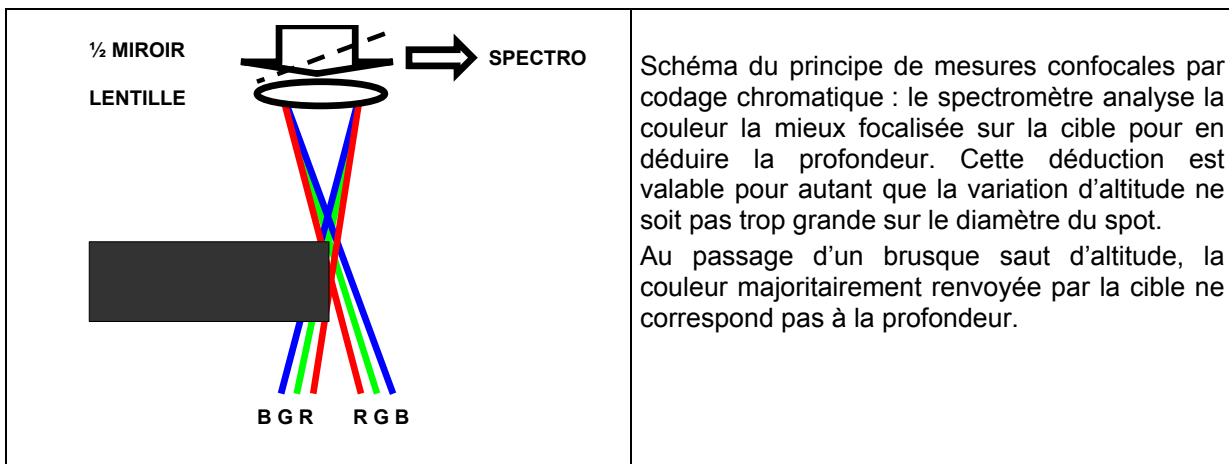


Schéma du principe de mesures confocales par codage chromatique : le spectromètre analyse la couleur la mieux focalisée sur la cible pour en déduire la profondeur. Cette déduction est valable pour autant que la variation d'altitude ne soit pas trop grande sur le diamètre du spot.
 Au passage d'un brusque saut d'altitude, la couleur majoritairement renvoyée par la cible ne correspond pas à la profondeur.

Les mesures confocales par codage chromatique ont donc permis le relevé de la forme sans la blanchir, ceci avec une très grande densité de points - nous avons toutefois observé des effets de bords. Mais une édition intelligente du nuage de points a permis de s'affranchir des effets de bords, ce qui a rendu possible l'analyse et la vérification de la forme et enfin sa modélisation par reconstruction de surface ce qui du fait de la taille des détails recherchés est tout à fait remarquable.

Relevons que la bonne compréhension des phénomènes physiques en jeu (réflexion, réfraction, diffraction : les lois de la propagation de la lumière) sont essentielles pour bien interpréter les mesures précises dans le domaine du millimètre . A ce titre on peut se demander quelles sont les parts dues à la diffraction et à l'optique géométrique « classique » dans le problème de l'effet de bord ici constaté. Des mesures effectuées avec une sonde de profondeur de champ plus faible (0.3mm) nous montrent un effet identique, mais à une échelle en relation avec le rapport des profondeurs de champ.

Conclusion

Les méthodes optiques de numérisation apportent des solutions intéressantes aux problèmes de formes qui se posent dans le monde horloger ; il est en effet important de ne pas avoir à toucher mécaniquement aux échantillons.

Pour les problèmes qui se posent dans l'habillement, les techniques utilisant de la lumière blanche structurée sont adéquates, mais elles nécessitent de blanchir les pièces. L'utilisation de la photogrammétrie conjointe à la lumière blanche structurée permet une grande accessibilité, c'est-à-dire une définition précise de la forme sous tous ses angles (ronde bosse).

Pour les problèmes des pièces du mouvement, les méthodes utilisant le principe de mesure confocale par codage chromatique permettent la définition de forme sans blanchir l'échantillon, avec une grande densité d'information. La définition de la forme en ronde bosse nécessite néanmoins la réalisation de posage judicieux et un traitement des données brutes est nécessaire pour éliminer certains effets de bord, ce qu'un traitement du signal encore plus élaboré devrait permettre de résoudre.