

# Application de l'holographie à l'étude d'un outil de coupe

Autor(en): **Jacquot, Pierre / Pflug, Léopold**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **104 (1978)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73510>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Application de l'holographie à l'étude d'un outil de coupe

par PIERRE JACQUOT et LÉOPOLD PFLUG, Lausanne

## 1. Introduction

Parmi l'éventail des méthodes optiques d'analyse des déformations, plusieurs ont recours aux propriétés de la lumière cohérente. Il nous a paru intéressant de présenter ici l'une d'elles à l'occasion d'une étude concrète. Il s'agit de l'interférométrie holographique.

## 2. Définition du problème

Un outil de coupe au carbure de tungstène se compose d'une plaquette de coupe, de forme triangulaire, qui repose sur un porte-outil par l'intermédiaire d'une pièce de répartition. L'ensemble porte dans la norme ISO la désignation PTJNR 25 × 25 - 22Q.

La fixation de la plaquette est assurée par un pion, logé dans un alésage qui traverse la plaquette de coupe, la pièce de répartition et le porte-outil. Au moyen d'une clé de serrage, l'opérateur déplace le pion de telle manière que la plaquette de coupe soit pressée contre le porte-outil. La fixation de la plaquette est ainsi assurée de manière purement interne.

Toutefois, dans des conditions d'utilisation particulièrement sévères, on a constaté parfois des ruptures inexplicables prenant naissance au voisinage de l'alésage (fig. 1). C'est le cas notamment lors de l'utilisation de plaquettes de coupe munies d'un revêtement réfractaire résistant à l'usure.

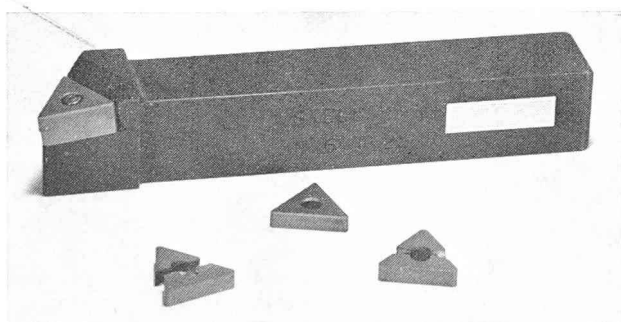


Fig. 1. — Vue du porte-outil et des plaquettes défectueuses.

Afin d'améliorer le comportement de cette plaquette de coupe, il importe d'abord de connaître en détail son mode de déformation sous l'effet des charges de service. Dans ce but, on soumettra, lors d'un premier essai, la plaquette à une charge perpendiculaire à son plan et représentative de l'effort de coupe rencontré en pratique.

En vue de préciser l'importance de la répartition des charges résultant de la présence d'une pièce de répartition, on a aussi chargé le porte-outil seul dans les mêmes conditions que lors du premier essai.

Enfin, les déformations résultant de la fixation de la plaquette par serrage du pion font l'objet d'un essai distinct.

Pour les deux premiers essais, seule la composante de la charge de service perpendiculaire au plan de la plaquette est prise en compte ; cette restriction n'affecte toutefois pas de manière sensible les conclusions auxquelles nous parviendrons.

Le problème posé relève typiquement de méthodes optiques d'analyse des contraintes. On souhaite, en effet,

connaître la réponse globale de l'outil à une sollicitation particulière. Les méthodes optiques — soit en lumière incohérente comme la photoélasticité ou les moirés ; soit en lumière cohérente comme l'interférométrie par speckle ou par holographie — ont en commun de permettre la visualisation de la déformation, sous la forme analogique de franges d'interférences, sur tout le champ.

Selon l'avis général, il n'existe pas une méthode universelle, a priori supérieure à toutes les autres (cf. par exemple [1]). Au contraire, l'engagement de telle méthode dépend essentiellement du caractère propre à chaque cas d'espèce.

Il a semblé, pour cette étude, que l'interférométrie holographique convenait le mieux. Parmi les diverses variantes à disposition, aussi bien à l'enregistrement qu'à la restitution et à l'interprétation des interférogrammes, le choix s'est porté sur celle qui permet de visualiser les lignes de niveau de la déformée de l'objet — ou lignes d'égal déplacement selon la normale à l'objet — avec une sensibilité égale à la demi-longueur d'onde de la lumière utilisée.

## 3. Rappels concernant l'holographie simple exposition

La technique holographique simple exposition comporte deux phases : l'enregistrement et la restitution (fig. 2).

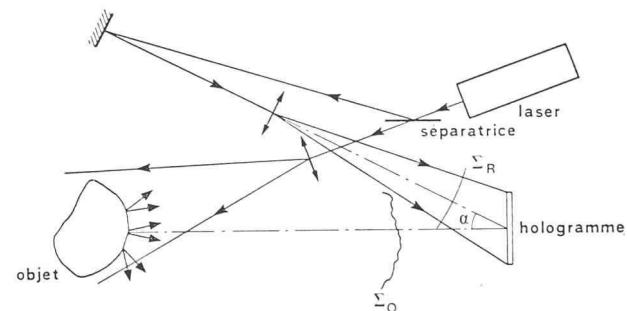


Fig. 2. — Principe de l'enregistrement holographique.

- a) L'enregistrement consiste à superposer sur une plaque photographique haute résolution ( $2000 \text{ à } 3000 \text{ mm}^{-1}$ ) une onde dite de référence  $\Sigma_R$  (plane ou sphérique, pour être aisément reproductible) et la fraction de l'onde diffusée par l'objet dans la direction de la plaque  $\Sigma_0$ . Lorsque ces deux ondes sont cohérentes (en pratique : lumière issue d'un laser, divisée pour former la référence et éclairer l'objet ; trajets optiques selon les deux bras rendus sensiblement égaux) cette superposition donne lieu à une figure d'interférences. Le phénomène enregistré, la plaque ayant été exposée puis développée dans les conditions de linéarité, est donc un réseau compliqué de microfranges, de période moyenne :

$$p = \lambda / \sin \alpha$$

$\lambda$  : longueur d'onde

$\alpha$  : angle entre les directions moyennes de propagation de l'onde de référence et de l'onde objet.

- b) A la restitution, il suffit d'illuminer l'hologramme par une onde identique à celle qui joue le rôle de référence à l'enregistrement. Cette onde est diffractée par le réseau de microfranges de sorte qu'elle recrée l'onde

objet dans tout l'espace où elle se propage et, notamment, forme une image tridimensionnelle de l'objet. La permanence de la restitution dure évidemment autant que l'on éclaire l'hologramme.

#### 4. Principe de l'interférométrie holographique [2], [3], [4], [5], [6]

Il est parfaitement loisible, au stade de l'enregistrement, d'exposer plusieurs fois la plaque photographique ; on parle alors d'holographie double ou multiexposition ou encore d'interférométrie holographique. En effet, les diverses ondes, enregistrées séquentiellement mais restituées simultanément et de manière cohérente par la référence, sont capables à leur tour d'interférer entre elles et de fournir une figure de franges macroscopiques, d'aspect comparable à celles de l'interférométrie classique, mais affectées d'un « bruit de fond » résultant de la présence de « speckle », dont l'exposé des propriétés sort du cadre du présent article.

Dans cette étude, l'objet est éclairé en onde plane sous incidence normale et observé dans la même direction. Dans cette configuration, les composantes  $u$  et  $v$  (déplacements dans le plan de l'objet) ne provoquent aucune variation de différence de marche entre les deux ondes sur le trajet illumination.

Deux points de l'objet, centrés sur deux franges consécutives, sont distants de  $\lambda/2$  en projection sur la normale. En d'autres termes, l'interférogramme visualise les lignes de niveau de la déformée, avec une résolution en cote égale à  $\lambda/2$ . Un seul interférogramme est nécessaire.

La connaissance de la déformée apporte souvent des renseignements suffisant à la bonne compréhension des mécanismes de transmission des efforts à l'intérieur de l'objet. Elle permet de localiser les zones de flexion, de torsion, de traction et de compression et de quantifier ces effets.

#### 5. Servitudes et intérêts de la méthode

De ce qui précède, on peut déduire les principales contraintes liées à l'emploi de la méthode holographique :

- Elle exige une stabilité parfaite du montage d'enregistrement et du bâti de mise en charge. S'agissant d'essais statiques et dans l'enceinte du laboratoire, ce problème n'est pas insurmontable.
- Le dispositif d'application de la charge ne doit pas induire de déplacement d'ensemble de l'objet. Il est donc nécessaire de disposer d'un bâti extrêmement rigide, et de prendre la précaution de roder les points d'appuis de l'éprouvette. On applique souvent une précharge importante avant la première exposition, qui a pour but de mettre en place l'éprouvette. Tant que l'on reste dans le domaine élastique linéaire, les résultats ne sont pas affectés.

Aucun de ces inconvénients n'a suffisamment de poids pour disqualifier l'emploi de l'holographie dans le problème posé. Au contraire, on peut porter à son actif les avantages suivants :

- L'étude est conduite directement sur l'objet lui-même. On s'évite la réalisation d'un modèle et on s'affranchit de tous les problèmes d'analyse dimensionnelle, pratiquement inextricables dès que la pièce est de forme compliquée et constituée de matériaux fort différents par leur module de Young et leur coefficient de Poisson.
- La méthode est très sensible, de sorte qu'il est inutile d'appliquer des charges importantes pour voir appa-

raître les défauts. Conséquence indirecte, ceci simplifie le problème relatif à la suppression du déplacement d'ensemble.

- Comme dans la plupart des méthodes optiques, l'information est continue dans tout le champ objet. On pourra suivre les différences de comportement entre les plaquettes et le porte-outil et constater le mouvement relatif des divers éléments constitutifs.
- La méthode, sans contact avec l'éprouvette, ne nécessite aucune préparation spéciale de la surface.
- Dans la configuration retenue, l'interprétation est simple et les composantes ( $u$ ,  $v$ ) de déplacement sont éliminées.

#### 6. Description des montages d'enregistrement et de restitution (fig. 3)

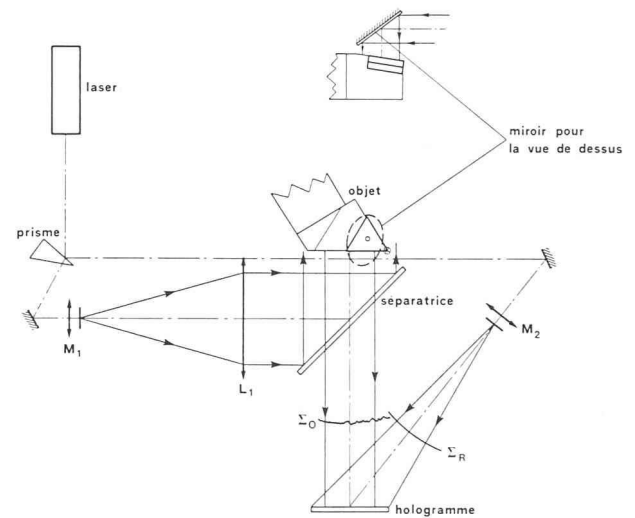


Fig. 3. — Montage utilisé pour l'enregistrement holographique.

Pour la partie éclairage, l'objectif de microscope  $M_1$  ( $\times 20$ ) et l'objectif  $L_1$  ( $f = 400$  m) servent de collimateur et forment une onde plane de 60 mm de diamètre suffisant à couvrir toute la partie utile de l'objet. La séparatrice (50 % de réflexion ; 50 % de transmission), inclinée à  $45^\circ$ , permet d'éclairer et d'observer selon la normale à la joue du porte-outil. Un petit miroir est placé au-dessus de la plaquette de coupe, dans un plan bissecteur du plan de la joue et du plan horizontal. Cette disposition permet d'éclairer et d'observer selon leur normale respective, à la fois à la joue et la partie supérieure de l'outil, à l'aide d'un seul hologramme situé à 450 mm de l'objet.

Un prisme ( $60^\circ$ ), non traité, divise le faisceau laser incident. Le faisceau subissant la réflexion vitreuse (quelques pourcent de l'intensité initiale) forme l'onde de référence : une onde sphérique, inclinée à  $40^\circ$  sur l'hologramme, de rayon 430 mm.

#### Schéma du montage de restitution (fig. 4)

Une onde sphérique, réplique exacte de la référence, donne l'image virtuelle de l'objet à travers l'hologramme, au grandissement unité. L'image virtuelle est conjuguée au grandissement unité par l'objectif  $L_2$  ( $f = 400$  m) qui fournit l'image réelle dans un plan situé à  $2f$ . Un châssis polaroïd, disposé dans ce plan, permet l'enregistrement des interférogrammes.

A chaque hologramme correspondent deux clichés, dont les plans de mise au point sont distincts : d'une part la joue de l'outil ; d'autre part la partie supérieure du porte-outil et des plaquettes, décalés longitudinalement en raison du

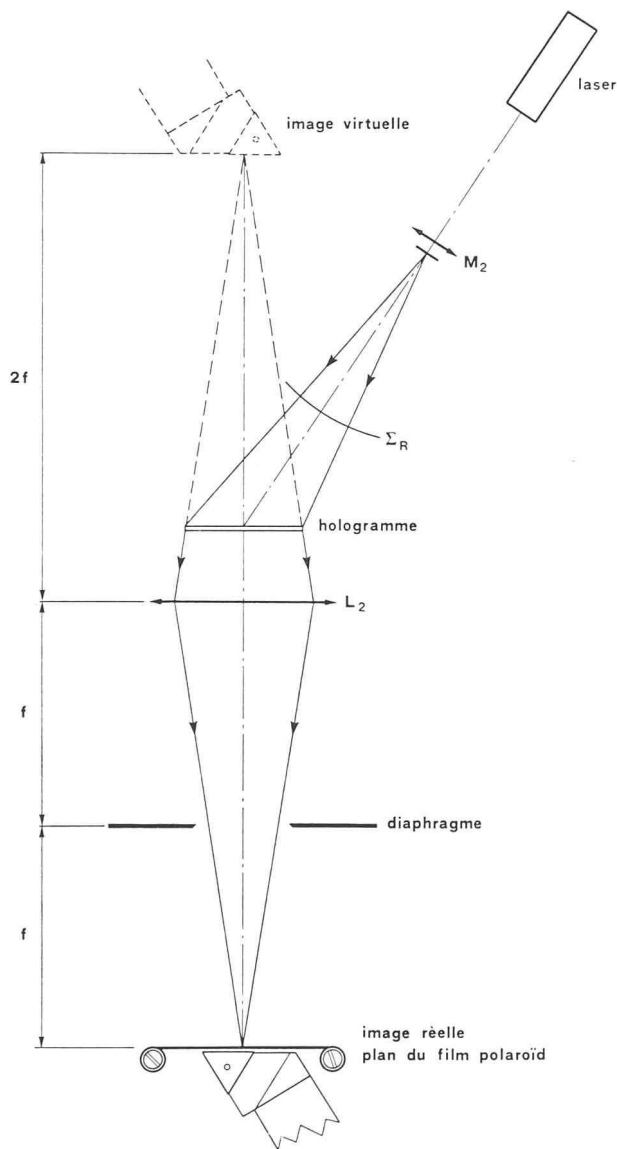


Fig. 4. — Schéma du montage utilisé pour la restitution.

petit miroir de renvoi mentionné plus haut. Dans les planches on désigne respectivement par vue de face et vue de dessus ces deux clichés.

## 7. Interprétation des clichés

Les figures 5, 6 et 7, 8 comportent chacune deux informations distinctes :

- A la partie inférieure du cliché, les lignes d'interférences donnent les déplacements perpendiculaires au plan de la joue du porte-outil et aux faces verticales de la plaquette d'appui et de la plaquette de coupe.
- A la partie supérieure du cliché, les lignes d'interférences donnent les déplacements perpendiculaires à la face supérieure de la plaquette de coupe et à la face supérieure du porte-outil.

Dans les deux cas, le déplacement relatif de deux franges consécutives est de  $0,26 \mu\text{m}$ .

### 7.1 Observations relatives à la joue du porte-outil (fig. 5)

Si nous désignons par A, B et C les génératrices, initialement verticales, contenues dans le plan de la joue du porte-outil et indiquées sur la figure 5, nous constatons les points suivants :

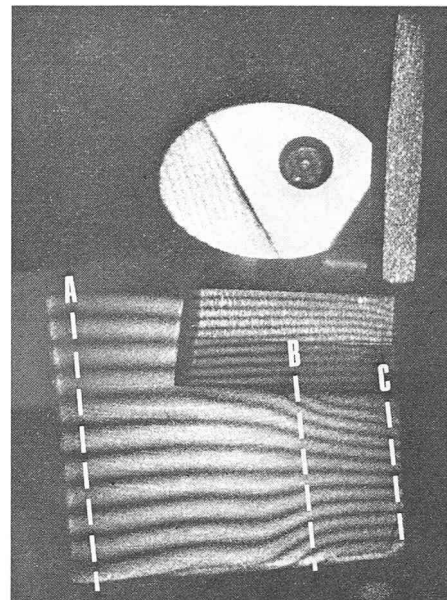


Fig. 5. — Déformation transversale de la joue du porte-outil (ensemble porte-outil et plaquettes).

- Au voisinage de A et au voisinage de C, ces franges d'interférences restent sensiblement parallèles et équidistantes, ce qui indique que la déformation correspondante s'effectue selon un plan. L'inclinaison du plan déformé par rapport au plan initial constitué par la joue du porte-outil est environ deux fois plus importante le long de C que le long de A.
- La présence d'une zone perturbée, au voisinage de la ligne B, caractérisée par un brusque resserrement des franges d'interférences indique une modification rapide de la pente du plan de la joue déformée.
- La zone perturbée au voisinage de la ligne B met en évidence l'affaiblissement provoqué par l'alésage nécessaire au passage du pion de serrage.

En outre, la densité des franges est plus grande sur chacune des deux plaquettes que sur la joue du porte-outil dans sa partie la plus déformée (ligne C).

Cette différence dans la disposition des lignes d'interférences traduit une différence de déformation dans les trois pièces.

Cette déformation différentielle doit entraîner un décollement de la plaquette d'appui par rapport au porte-outil et, dans les premiers stades de la mise en charge, de la plaquette de coupe par rapport à la plaquette d'appui.

### 7.2 Observations relatives à la partie supérieure de la plaquette de coupe et du porte-outil (fig. 6)

Cette observation montre que la face supérieure de la plaquette de coupe subit une rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à l'arête d'appui sur le porte-outil.

A première vue, les franges d'interférences paraissent parallèles et équidistantes, ce qui indiquerait que la face supérieure de la plaquette reste plane pendant la déformation. Un examen plus attentif montre toutefois qu'au voisinage de l'alésage les franges d'interférences correspondant à la même déformation ne possèdent pas exactement la même orientation. Cette légère différence d'orientation permet de déceler le voilement de cette face de la plaquette.

### 7.3 Observations relatives au porte-outil seul (fig. 7 et 8)

Lors de cette partie de l'essai, le porte-outil a été soumis aux mêmes séquences de charge que lors de l'examen précé-

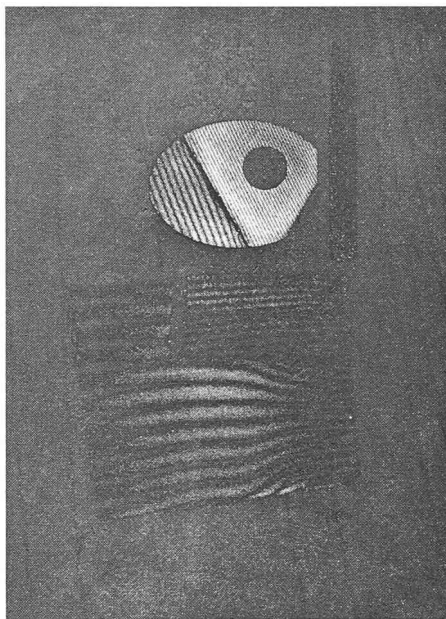


Fig. 6. — Déformation transversale de la face supérieure de la plaquette.

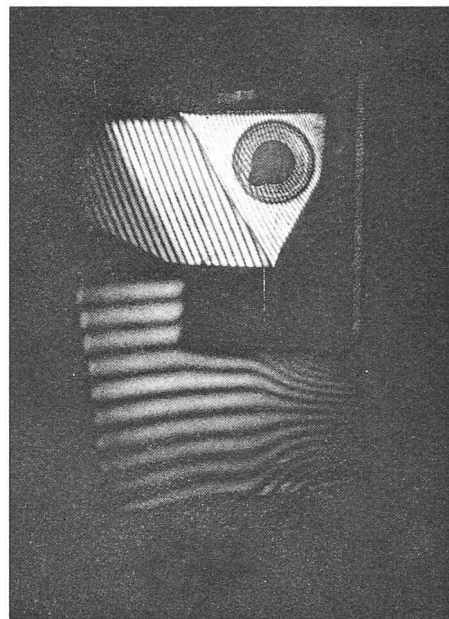


Fig. 8. — Déformation transversale de la face d'appui du porte-outil.

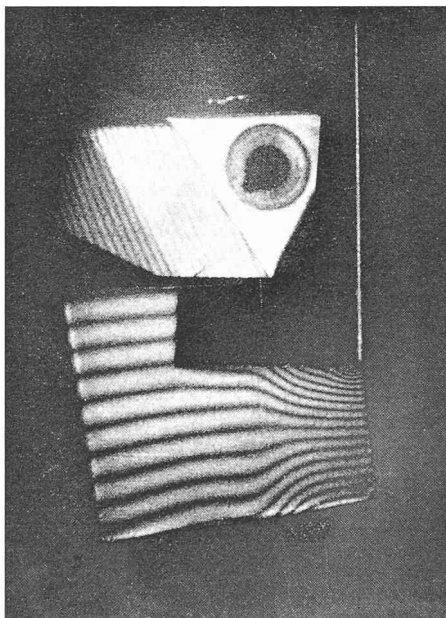


Fig. 7. — Déformation transversale de la joue du porte-outil (porte-outil seul).

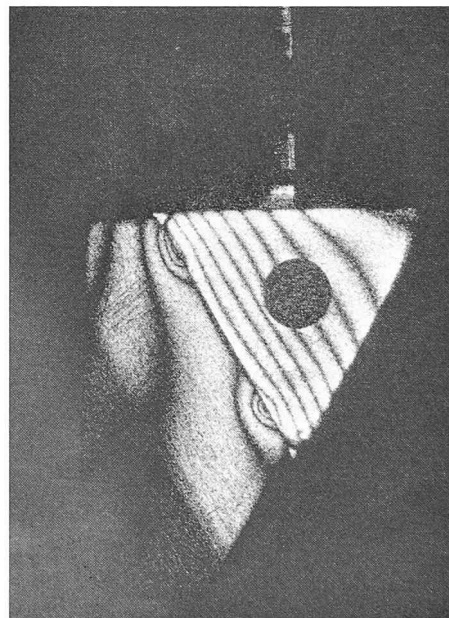


Fig. 9. — Déformations transversales du porte-outil et de la plaquette, dues au serrage du pion.

dent. L'interprétation des franges permet de confirmer les hypothèses avancées quant à l'aspect des déformations des joues ou de la face supérieure. C'est ainsi que l'on note de manière accrue le voilement de la ligne C par rapport à la ligne A dans la joue et le voilement de la face horizontale recevant la plaquette d'appui.

#### 7.4 Observations relatives à la manœuvre de fixation par le pion (fig. 9)

Le serrage provenant de la précontrainte provoque une rotation de la face supérieure de la plaquette autour d'un axe sensiblement parallèle à l'arête de contact avec le porte-outil.

Au voisinage de l'alésage, la continuité des franges d'interférences de part et d'autre du pion montre que la déformation reste plane, il n'y a pas de gauchissement de la face supérieure de la plaquette de coupe à ce niveau.

L'excentrement vertical entre la force exercée par le pion sur les parois de l'alésage et la ligne d'appui de la plaquette provoque la pression de la pointe de la plaquette de coupe sur la plaquette d'appui. En effet, en raison de l'inclinaison de la face antérieure du porte-outil, cette ligne d'appui coïncide sensiblement avec l'arête supérieure de la plaquette d'appui. La déformation résultant de ce couple se subdivise en deux zones :

- Dans la zone comprise entre la ligne d'appui et l'alésage, la densité et l'orientation des franges font apparaître une déformation plane, à peu près uniforme jusqu'à l'axe de l'alésage.
- Dans la zone comprise entre l'axe de l'alésage et la pointe de la plaquette, l'espacement entre les franges s'accroît et leur orientation se modifie. Ce phénomène traduit une pente de la face supérieure de la plaquette plus faible que dans la zone précédente,



et le changement d'orientation indique un gauchissement de la zone de la plaquette proche de la pointe. Il y a donc changement brusque de la pente de la surface déformée de la plaquette au niveau de l'alésage.

On notera enfin sur le porte-outil des boursoufflures bien apparentes au voisinage des points d'appui de la plaquette de coupe. Ces boursoufflures s'expliquent par le gonflement transversal de l'acier et peuvent être déterminées en connaissant l'intensité de la pression d'appui à l'aide du coefficient de Poisson.

L'absence de lignes d'interférences comparables sur la plaquette de coupe est l'indice d'un coefficient de Poisson très bas pour le matériau dont ces plaquettes sont constituées.

## 8. Conséquences constructives

— Les ruptures prématurées constatées sur la plaquette de coupe sont inhérentes à une trop grande déformabilité du porte-outil dont la surface d'appui ne reste pas plane lors de la mise en charge.

— Comme les plaquettes sont constituées d'un matériau dur et fragile, celles-ci sont incapables de suivre les déformations du porte-outil. Il en résulte nécessairement une flexion de la plaquette de coupe.

— Ces considérations mettent en évidence les limites mécaniques de ce type de fixation.

Afin de conserver les avantages inhérents au dispositif et en particulier la simplicité du mode opératoire, il conviendra de limiter dans toute la mesure du possible l'affaiblissement de la rigidité du porte-outil.

A cet effet, on pourrait par exemple envisager un dispositif dans lequel le serrage du pion contre la plaquette serait obtenu par vissage dans sa zone supérieure.

Enfin, les concentrations de contraintes dans les plaquettes de coupe au voisinage de l'alésage peuvent être diminuées par un chanfrein approprié et la pratique récente de cette disposition le confirme pleinement.

## 9. Conclusions

Cet exemple d'application de l'interférométrie holographique nous paraît significatif des avantages offerts par les méthodes optiques d'analyse des contraintes.

Grâce à un champ continu d'informations relevées sur l'objet réel, l'observateur dispose d'une vue globale du comportement du système ; l'interaction des composants est constamment visible et les zones défectueuses aisément localisables.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. M. BURCH : *Outlines of Optical Metrology ; The engineering uses of coherent optics*. Cambridge University Press, 1975.
- [2] J. Ch. VIÉNOT, C. FROEHLI, J. MONNERET et J. PASTEUR : *Hologram interferometry ; surface displacement fringe analysis as an approach to the study of mechanical strains*. The engineering uses of holography, Cambridge University Press, 1970.
- [3] J. MONNERET : *Exploitation des systèmes d'interférences observables en interférométrie holographique d'objets opaques diffusants*. C.R. du Symp. sur les Applications de l'Holographie, Besançon, juillet 1970.
- [4] P. JACQUOT : Thèse : *Analyse de l'Information contenue dans un interférogramme en double exposition : Etude de quelques procédés sur des exemples concrets*. Laboratoire de physique générale et optique, Professeur J.-Ch. Viénot, Besançon, 1973.
- [5] J. W. C. GATES : *Holographic measurement of surface distortion in three dimensions*. Optics Technology, 1 (5), 247-259, 1969.
- [6] M. DUBAS et W. SCHUMANN : *On direct measurements of strain and rotation in holographic interferometry using the line of complete localization*. Optica Acta, vol. 22, n° 10, 807-819, 1975.

Adresse des auteurs :

Pierre Jacquot, D<sup>r</sup> ès sc.  
Léopold Pflug, professeur, D<sup>r</sup> ès sc.  
Laboratoire d'analyse des contraintes  
Ecole polytechnique fédérale  
1015 Lausanne

## Divers

### Implantation à Ecublens de l'EPFL

Le Bureau des constructions fédérales pour l'EPF de Lausanne informe Messieurs les entrepreneurs qu'un avis de soumission a paru dans la *Feuille des avis officiels du canton de Vaud*, n° 103/27.12.1977, p. 3250.

## Carnet des concours

### Centre scolaire de Veyras (VS)

#### Ouverture

L'administration communale de Veyras ouvre un concours de projets pour l'agrandissement du groupe scolaire de Veyras. Ce concours est ouvert aux architectes ayant leur domicile professionnel dans le district de Sierre depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1977. Le délai de remise de projets est fixé au 31 mars 1978. Les maquettes devront être expédiées à la même adresse pour le 7 avril 1978. Le jury est composé comme suit : Charles Zimmermann, architecte cantonal, Collombey ; André Perraudin, Sion ; Marc Mozer, Genève ; Pierre Perren, président de la Commune, Veyras ; Michel Zufferey, vice-président de la Commune. Le jury dispose d'une somme de 18 000 fr. pour primer cinq à six projets. Un montant de 2000 fr. est mis à sa disposition pour achats éventuels. Programme : 4 classes pour

l'enseignement primaire, toilettes, vestiaires, salle de gymnastique, local des engins, local de scène, etc., abris de protection civile, local pour sociétés, local du feu et du matériel PC.

## Communications SVIA

### Assemblée générale ordinaire du Groupe des architectes

Lausanne, 3 février 1978

L'assemblée générale ordinaire du Groupe aura lieu le *vendredi 3 février 1978, à 17 h.*, à l'Hôtel-Restaurant de la Navigation, Ouchy-Lausanne.

#### Ordre du jour

1. Approbation du procès-verbal de l'assemblée générale ordinaire du 24 février 1977.
2. Rapport d'activité du Groupe et discussion.
3. Examen de candidatures :  
M. Nicola Mercier, architecte REG (parrains : MM. J.-P. Borgeaud et G. Cocchi).  
M. Guy Righetti, architecte REG (parrains : MM. W. F. Vetter et J.-P. Borgeaud).  
M. François Perrelet, architecte REG (parrains : MM. L. Stale et J.-D. Urech).
4. Elections statutaires.
5. Divers.