

CAPTEUR LASER DE POSITION ET DE SURVEILLANCE DE L'USURE D'OUTILS DE COUPE

GODARD Bruno*
BOURDET Pierre**
D'HOINE Philippe**
MATHIEU Luc**

*Laboratoires de Marcoussis- Route de Nozay
91460 MARCOUSSIS

**ENSET (LURPA) Cachan
61 Avenue du Pdt Wilson
94230 CACHAN

Les travaux réalisés par les LdM s'effectuent, pour partie, dans le cadre d'un contrat notifié par le MRT à l'association PROMOTEC.

RESUME

Nous présentons une méthode optique permettant d'une part la mesure de l'usure d'un outil de tour et d'autre part la mesure automatique des jauges outil sur un tour à commande numérique (défaut de positionnement ou légère usure de la plaquette). Cette méthode utilise l'observation de l'intersection de la pièce à mesurer, avec un plan lumineux. Le volume de la pièce est déterminé par l'observation de coupes successives entre lesquelles vont être effectués des déplacements connus. Un microprocesseur associé à un logiciel spécifique assure le traitement de l'information. Le module conçu et réalisé aux Laboratoires de Marcoussis (Centre de Recherches de la Compagnie Générale d'Electricité) a été testé à LURPA (ENSET à Cachan). Les résultats montrent une bonne sensibilité de la méthode ; un déplacement de 1 μm de la pièce est détecté et les V_B trouvés sont en accord avec les mesures traditionnelles. Ces mesures optroniques se font en temps quasi réel (≈ 50 ms). Un prolongement de cette méthode aux mesures sur outil tournant est présenté.

Dans le cadre de l'installation et de la mise en oeuvre d'un Atelier Flexible de production par usinage, le LURPA (Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisé) a pour objectif de doter les moyens de capteurs d'observation et de surveillance de divers phénomènes. En particulier il a eu le besoin de mesurer la position des outils et l'évolution de l'usure sur une cellule de tournage qui constitue le domaine premier d'application du capteur décrit dans les pages suivantes. La Division Optronique des Laboratoires de Marcoussis (Centre de Recherches de la C.G.E.) a pu apporter ses compétences en prise d'informations par laser pour cette réalisation.

DESCRIPTION DU DISPOSITIF ET DE SON FONCTIONNEMENT

Introduction

L'objectif est de concevoir et de mettre en oeuvre un module de vision en TROIS DIMENSIONS destiné à contrôler la position et l'état d'usure d'un outil de coupe.

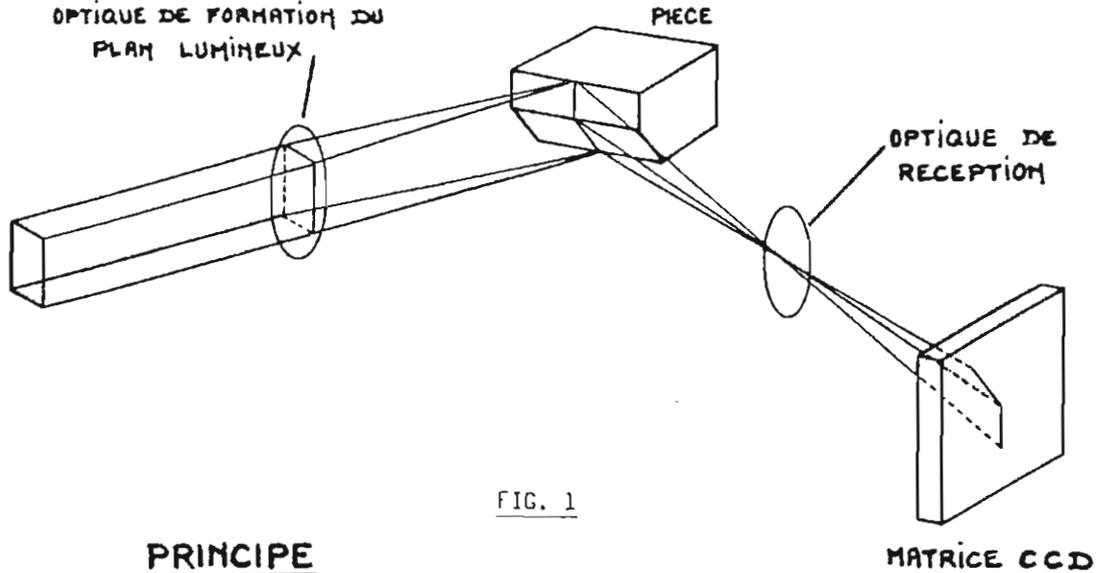
Ce système, associé à un dispositif de déplacement à commandes numériques CN, permettra ;

- de mesurer la position exacte de l'outil en début de cycle d'usinage et, donc, de corriger (ou compenser) l'éventuelle erreur de positionnement initial ;
- de chiffrer les défauts de l'outil dus à l'usure et de distinguer un outil usé d'un outil en bon état.

L'ensemble des mouvements du chariot machine est programmé à partir d'une origine. Celle-ci sera réajustée en fonction de la position réelle de l'outil. L'erreur de position de l'outil devra être évaluée avec une précision de l'ordre de 1/100 de millimètre.

La distinction entre outil usé et outil en bon état se fondera sur un ensemble de critères pré-établis.

Le capteur utilise la technique de la profilométrie par plan laser et matrice CDD. Il comporte une tête optique et un système de traitement.



La tête optique est constituée d'un ensemble d'éclairage structuré et d'un ensemble d'observation.

On éclaire avec un plan lumineux P la surface S de l'objet à analyser (Fig.1) ; une caméra CCD observe l'intersection du plan lumineux avec la surface. On obtient ainsi une image de la section de l'objet (l'outil) pour un plan donné P. Contrairement aux procédés d'observation passifs, chaque pixel éclairé de la caméra CCD correspond donc, de façon bi-univoque, à un point dans l'espace car il vient nécessairement du plan lumineux ; chaque courbe lumineuse sur la matrice CCD correspond de façon bi-univoque à une courbe dans l'espace.

Une troisième dimension est alors donnée par le mouvement relatif et connu entre le capteur et l'objet. L'analyse des images obtenues pour différentes sections permet de connaître l'objet dans ses trois dimensions. La connaissance a priori de la forme permet de déterminer avec peu de sections les défauts de positionnement ou d'usure de la pièce observée. L'usure d'un outil de coupe, par exemple (Fig.2) peut se traduire par l'apparition d'une facette sur la face de dépouille de l'outil.

L'intersection du plan lumineux avec la face de dépouille est donc une ligne droite dans le cas d'un outil neuf et devient une ligne brisée dans le cas d'un outil usé (intersection d'un plan par un dièdre) ; typiquement celui-ci est considéré usé quand la hauteur de la facette d'usure $V_B > V_B^*$ ($0,3\text{mm} < V_B^* < 0,8\text{mm}$). Dans le plan de la matrice CCD on a : $V_B' \leq V_B^*$ où g est le grandissement.

Une propriété particulièrement intéressante de ce dispositif est qu'il permet de mesurer le recul d'arête pour pouvoir corriger la commande numérique de la machine de façon à conserver une bonne précision.

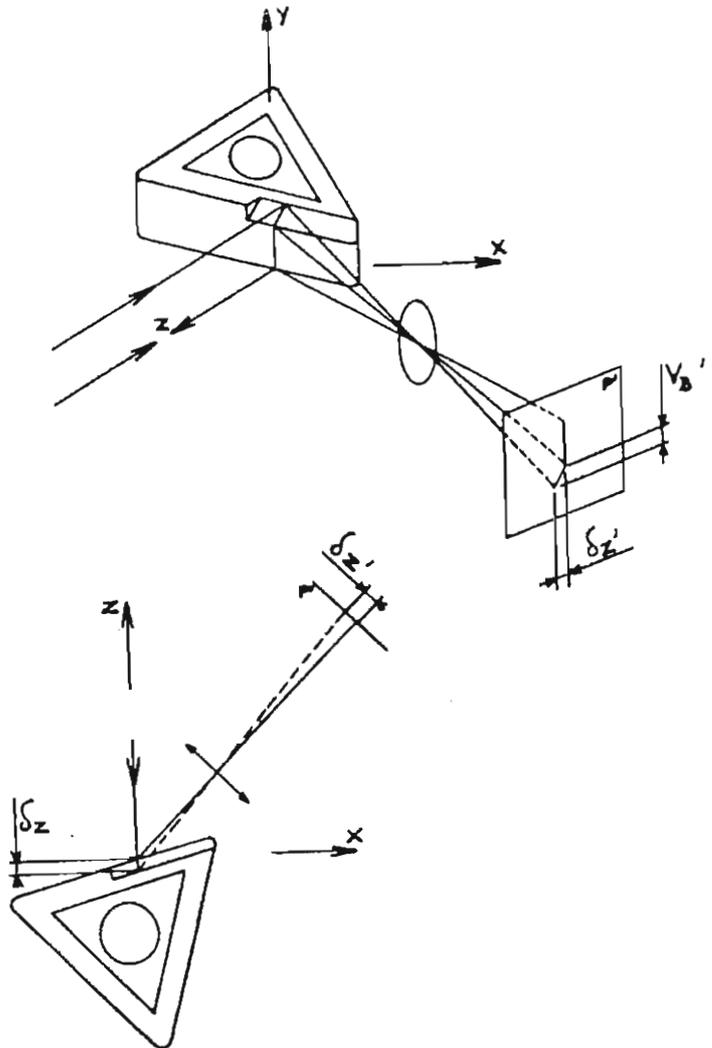
Par ailleurs, on pourra déceler si l'outil est ou n'est pas à la place prévue par le C.N. et éventuellement savoir comment le déplacer pour l'y ramener et usiner avec la précision initiale (erreur d'origine \rightarrow mesure de la jauge outil).

L'ensemble optronique fonctionne selon le processus suivant :

- . La tête optique se compose d'un éclairage structuré (laser) et d'une voie d'observation (caméra CCD) ; Elle envoie et reçoit des informations,
- . Une analyse de l'image reçue fournit la valeur V_B et le recul d'arête
- . Une liaison avec la Commande Numérique permet le déplacement relatif de l'outil et du module.

La tête optique

La tête optique comporte une observation avec une caméra CCD et deux voies d'éclairage symétriques par rapport à l'observation. Deux voies d'éclairage sont utiles pour éviter les phénomènes d'ombre. Chaque voie focalise optiquement la source laser (diode à $0,8 \mu\text{m} - 1 \text{mw}$) en une ligne au moyen d'une optique adaptée; cette ligne est orientée dans le plan de



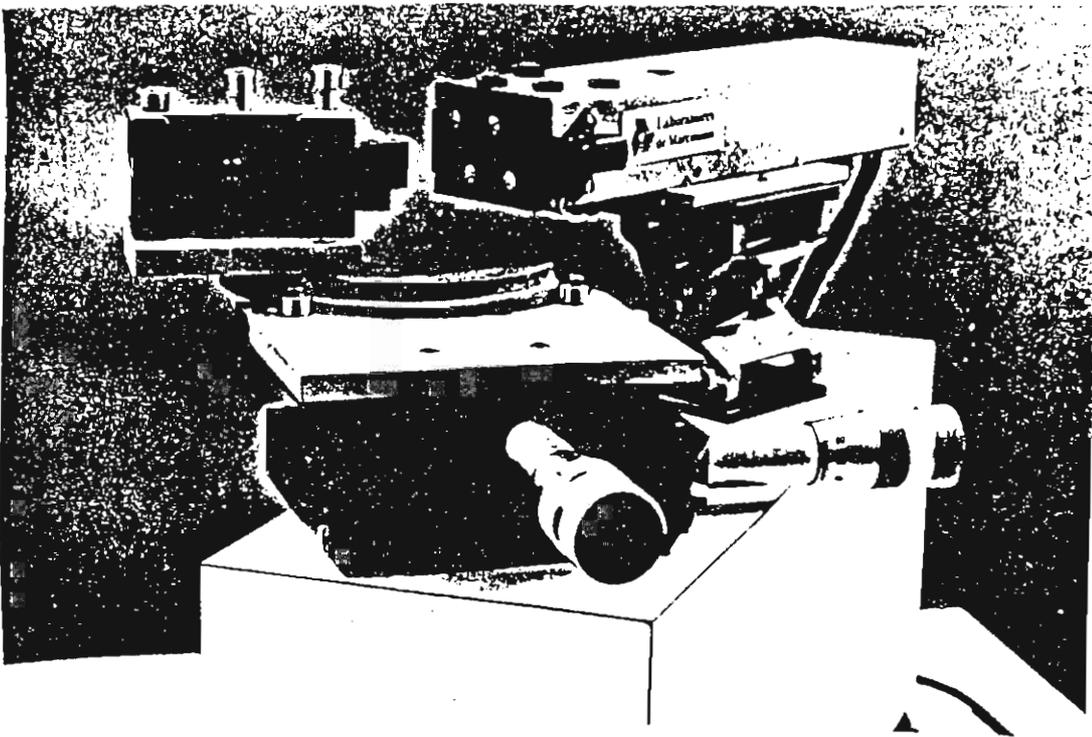
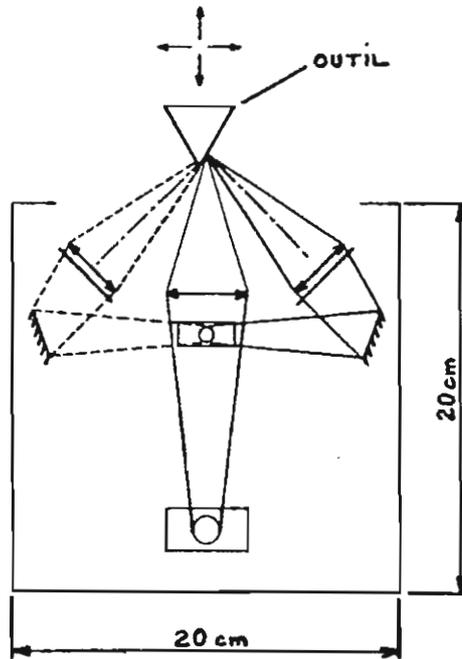
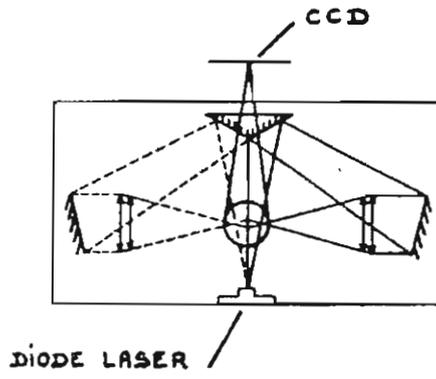
symétrie. Le plan laser dont on a parlé précédemment est le plan médian du "drièdre" lumineux ainsi formé. Les caméras CCD et les diodes laser présentent de nombreux avantages intrinsèques ; leur couplage offre des avantages supplémentaires :

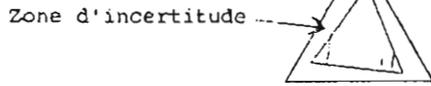
- . les caméras CCD peuvent être miniaturisées, la caméra SONY que nous employons mesure $2,9 \times 4,4 \times 7,2 \text{ cm}^3$ et ne pèse qu'une centaine de grammes.
- . elles utilisent une matrice de pixels ce qui peut être intéressant pour numériser l'image ensuite ; celle que nous utilisons a 384×491 pixels ; grâce à cette matrice on évite les problèmes de distorsion géométrique et de sensibilité aux vibrations des tubes vidicons.
- . Elles sont de fabrication collective et leur prix diminue beaucoup et va encore décroître.
- . Elles ont une bonne sensibilité, en particulier à la longueur d'onde des diodes laser que nous employons.
- . Les diodes laser sont des lasers miniatures. Celles que l'on a choisies sont celles du marché Grand Public et sont donc peu chères ; elles émettent à $0,8 \mu\text{m}$ et assurent un bon couplage avec la matrice CCD.

Plusieurs têtes optiques ont été réalisées. Dans la première (Fig.3) le plan médian d'éclairage est à 45° du plan de symétrie ce qui a l'avantage de projeter l'endroit de mesure en avant de la tête ; dans les têtes suivantes le plan d'éclairage est perpendiculaire au plan de symétrie ce qui offre beaucoup d'autres avantages si l'on peut entrer l'outil à mesurer dans la tête optique.

La première tête optique n'utilise qu'une source laser et des miroirs séparent le faisceau en deux parties et permettent de replier les faisceaux (Fig.3). Le deuxième type de tête optique utilise deux sources laser collimatées ; c'est une version miniaturisée en section ($4,7 \times 6,4 \times 28 \text{ cm}^3$) (Photo 1). Sa longueur peut, si cela s'avère nécessaire, être réduite à 15 cm au lieu de 28 cm en reportant l'alimentation de la caméra CCD à l'extérieur.

Avec ces modules on peut donc localiser un outil connu (problème de la jauge outil) par quelques pointés successifs. Prenons l'exemple d'une plaquette triangulaire ; la plaquette est supposée positionnée approximativement et l'on voudrait la positionner précisément ; en revanche, on connaît exactement sa forme, à l'usure près, dont on sait si elle porte sur la partie haute ou basse. Par déplacement du chariot, par exemple dans le cas le plus économique, on amène l'outil de sa position de travail à sa position de mesure. On connaît la zone dans laquelle se trouve l'outil.





Le champ du capteur étant supérieur à la zone d'incertitude on a une première image. On connaît donc une ligne droite d'une face de l'outil ce qui diminue la zone d'incertitude.



Une deuxième mesure permettra de déterminer l'incidence du plan laser sur la face de l'outil, c'est-à-dire la position de cette face par rapport à un axe optique connu. Pour ce faire, on impose un déplacement dans la direction la plus probable de la face de l'outil. Ce déplacement conduit à une nouvelle position du trait lumineux dans l'image distante de Δl de la position précédente. Δl permet de calculer la tangente de l'angle d'incidence ; la zone d'incertitude est alors la suivante :

Zone d'incertitude.



Avec une troisième mesure on recherche la deuxième face de l'outil. On impose un mouvement de l'outil de façon à amener à coup sûr la deuxième face devant le plan laser. On connaît ainsi la position d'un point de la deuxième face donc de tout l'outil puisque sa forme géométrique est connue, en particulier on sait où se trouve l'arête de travail. Si seule la position de la pointe compte il aurait suffi alors de faire tangenter le plan LASER avec cette pointe.

On peut aussi déterminer l'usure de l'outil ; on amène la zone utile de l'outil dans le champ du capteur et, en fonction des coordonnées de la brisure de la ligne droite, on connaît très vite le V_B associé et le recul d'arête. Un test sur ces valeurs permet d'autoriser ou non avec cet outil la poursuite du travail en apportant les corrections dues au recul d'arête. S'il faut changer l'outil, il faut alors procéder à la mesure de la jauge outil.

Sur une partie non usée donc avec une ligne droite sur la matrice CCD, un déplacement de $1\mu m$ est détecté. Si l'objet a une forme inconnue, on peut en connaître la forme et la position mais cela nécessite de nombreuses coupes

Bien que pour la plupart des applications la profondeur de champ d'éclairage soit de $1mm$ avec le module miniaturisé et couvre plus de la moitié du champ d'observation de la caméra CCD qui mesure $1,7mm \times 1,2mm$, il se peut que le trait lumineux n'apparaisse plus comme un trait fin quand il tombe sur le bord du champ c'est-à-dire sur le bord de l'écran quand on l'observe avec un moniteur vidéo. La mesure peut alors légèrement perdre en précision et une mise au point s'avère nécessaire. Nous allons donc décrire le système de Mise Au Point Automatique.

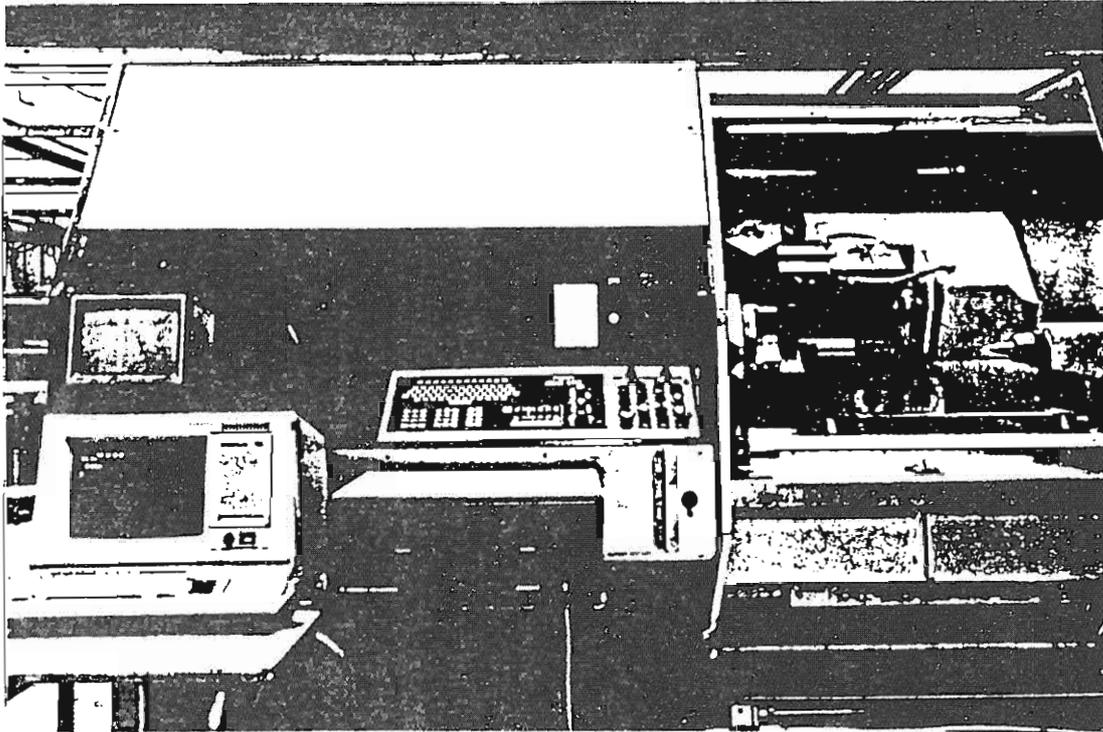
Le capteur est construit et réglé pour avoir la netteté maximale sur une ligne verticale au centre de l'écran vidéo. Plus on s'éloigne d'un côté ou de l'autre de cette position idéale, moins le trait est fin, en fait il y a une zone de tolérance en relation avec la dimension du pixel. Quand par exemple la lumière arrive sur un bord de l'écran, le trait lumineux occupe plusieurs pixels de large ; grâce à sa position sur l'écran, on sait néanmoins d'où il vient dans l'espace et plus précisément dans le plan médian de dièdre laser ; on le sait à une certaine imprécision près. En imposant à l'outil (ou au module) un mouvement dans le plan laser d'une quantité calculée en fonction de la position du trait lumineux on ramène le trait lumineux au centre de l'écran à l'imprécision de la première mesure près. On teste ensuite si le trait est dans la zone de tolérance donnée par la profondeur du champ ou non ; sinon on réitère. En pratique, un seul mouvement est nécessaire.

Système de traitement

Les informations données par la matrice peuvent être envoyées sur un moniteur vidéo et sur une carte de numérisation qui transfère ces données à un microcalculateur à base de microprocesseur 68000 et via un DMA qui dialogue avec le 68000 par VERSABUS. Les informations traitées peuvent aussi réagir sur l'intensité de la diode laser de manière à garder un éclairage correct. Le logiciel s'occupe essentiellement de saisir et de numériser les images ; il peut donner un histogramme des pixels de façon à conduire au bon choix du niveau de seuillage. Après seuillage qui élimine le bruit de fond, on détecte le maximum de chaque ligne de la matrice CDD. En reliant les coordonnées des maxima on obtient une ligne. Cette ligne est une droite dans le cas d'outils non usés. La droite est brisée quand l'outil est usé. Les coordonnées de la brisure sont calculées et conduisent au calcul de V_B . On calcule ainsi le recul d'arête.

RESULTATS

Les essais ont été réalisés en laboratoire et sur machine à l'ENSET (Cachan) à LURPA sur des tours à commande numérique (voir photo 2)



Pour réaliser les mesures avec le premier module il fallait tourner le barrillet port-outil de 180°, ce qui peut créer une incertitude pour la jauge outil. C'est pour pallier cet inconvénient que ce premier module a été miniaturisé (Photo 1).

V_B a été mesuré en accord avec les mesures traditionnelles et avec une incertitude de 0,05mm sur la valeur de V_B .

Un déplacement de $1\mu\text{m}$ a été détecté.

Le temps de chaque mesure est de l'ordre de 40 ms ; les cadences d'image pouvant être de 25 ou 30 images par seconde selon que l'on utilise les normes vidéo européennes ou américano-japonaises.

Le second module a un volet que l'on ferme pendant l'usinage de façon à le protéger contre les copeaux et les projections d'huile. Cependant, pour améliorer encore la protection contre l'huile un hublot cylindrique nettoyable et remplaçable est placé à l'entrée du module.

Conclusions

Plusieurs capteurs laser de position et surveillance de l'usure d'outils de coupe ont été conçus aux Laboratoires de Marcoussis (CGE) et testés sur tour à Commandes Numériques au LURPA (ENSET - Cachan).

Deux versions de capteurs ont été réalisées, la seconde étant une version miniaturisée (volume total avec diodes laser, caméra CCD et alimentation : $4,7 \times 6,4 \times 28 \text{ cm}^3$ pouvant être réduit à $4,7 \times 6,4 \times 15 \text{ cm}^3$ en reportant l'alimentation à l'extérieur). Le traitement de l'information (l'étude est actuellement menée avec microprocesseur 68000) permet d'effectuer chaque mesure en temps très court ($\approx 40 \text{ ms}$). Outre leur rapidité, ces capteurs ont l'avantage de pouvoir à la fois mesurer l'usure, la position et éventuellement la forme. Les essais ont montré que les mesures de V_B sont en accord avec les mesures traditionnelles et un déplacement de $1\mu\text{m}$ est détecté.

Nous travaillons actuellement sur l'étude d'un capteur appliqué aux outils tournants. Il est alors utile d'utiliser des lasers impulsionsnels ($\approx 100 \text{ ns}$) synchronisés précisément avec le passage des dents par un palpeur optique.

Nous travaillons également avec des capteurs analogues adaptés à une étude de contrôle dimensionnel ; ils peuvent alors être associés à des systèmes d'Intelligence Artificielle que nous étudions aussi aux Laboratoires de Marcoussis.

Ces capteurs opérant par des mesures sans contact, leur intérêt peut encore s'accroître quand les pièces sont, soit sous haute tension, soit très chaudes, soit très froides, soit contaminantes ou devant rester stériles.