

# Conception de montage d'usinage : placement des éléments technologiques en contact avec la pièce

Said Zirmi<sup>1</sup>, Henri Paris<sup>1</sup> et Idir Belaidi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire G-SCOP, Université de Grenoble, 46 avenue Félix Viallet France

<sup>2</sup>Laboratoire de productique, Université Mhamed Bougerra, Boumerdes 35000, Algérie

## Résumé :

*Le montage d'usinage est un dispositif permettant de lier et de positionner précisément et solidement la pièce dans le référentiel de la machine-outil. Le choix des éléments technologiques constituant le montage d'usinage et tout particulièrement les éléments en contact avec la pièce joue un rôle primordial dans la qualité de la pièce usinée. L'objectif de ce papier est d'une part de définir une méthodologie de choix des éléments technologiques en contact avec la pièce et d'autre part de proposer une stratégie de placement.*

**Mots clés :** Conception, montage d'usinage, appui, qualité, éléments modulaires.

## Abstract:

*Fixture is a device for linking and positioning precisely of the part on the machine tool. The choice of the technological elements constituting fixture particularly elements in contact with the workpiece has a large influence on the quality of the manufactured workpiece. The objective of this paper is on one hand to define a methodology of choice of the technological elements in contact with the workpiece and on the other hand to offer a strategy of investment.*

**Key word:** Design, fixturing, support, quality, modular components.

## 1 Introduction

Le montage d'usinage est un dispositif permettant de positionner et de maintenir la pièce dans le référentiel de la machine outil en vue de son usinage. Cette position doit être précise et stable durant tout le processus d'usinage. Plusieurs travaux ont été réalisés sur la modélisation des connaissances associées à la conception des montages d'usinage sous forme d'une base de règles [1] et sur la conception automatique de montages d'usinage pour les pièces prismatiques [2]. Ces travaux considèrent l'accessibilité des différentes surfaces de la pièce pour choisir les surfaces de posage [3], la conception du bridage et l'optimisation des efforts de serrage en tenant compte de la stabilité et de l'équilibre de la pièce [4-7], la conception du montage d'usinage assistée par ordinateur en proposant

différentes approches, géométriques [8], ou à l'aide d'algorithmes génétiques [9]. D'autres travaux s'intéressent à l'analyse de l'erreur de positionnement de la pièce sur ses appuis [10] et à la gestion des collisions entre les éléments constituant le montage et les outils de coupe [11,12]. La validation de la qualité de positionnement est abordée de manière à s'assurer du bon positionnement des surfaces usinées [13]. Beaucoup de travaux ont aussi abordés les phénomènes de frottement et les problèmes de contact [14].

La plupart des travaux considèrent que toutes les informations liées à la sous-phase sont connues au moment de la conception du montage d'usinage. Notre approche vise à traiter la conception du montage d'usinage de façon découplée des autres actions menées en conception de la sous-phase en se basant sur des estimations et sur les informations issues de l'architecture de gammes d'usinage. Pour le choix et le placement des éléments en contact avec la pièce on considère les contraintes de qualité, d'accessibilité et de comportement mécanique. Ces différentes contraintes ne sont pas indépendantes entre elles. Il est donc difficile de les satisfaire toutes en même temps. La solution retenue sera donc issue d'un compromis pour le choix des éléments. Pour le placement nous proposons de mettre en place une fonction optimisant le placement de ces éléments sur la pièce en considérant les contraintes adéquates.

## 2 Les entrées du système

Les données de conception du montage d'usinage sont issues de l'architecture de la gamme d'usinage qui est générée par un système appelé PROPEL et implémenté dans l'environnement CFAO Open Cascade [15-18]. Chaque sous-phase est caractérisée par la prise de pièce et ses attributs et par des indicateurs de performance de la solution retenue pour la prise de pièce. Les indicateurs de qualité traduisent l'espace dans lequel doit se situer les surfaces d'appui. Les indicateurs de stabilité nous renseignent sur le comportement mécanique de la pièce sur ses appuis durant l'usinage. Nous disposons du posage caractérisé par un triplet d'appuis et un bridage caractérisé par le mode de bridage. L'information sur la cinématique et la configuration de la machine outil et la liste des opérations d'usinage réalisées avec cette prise de pièce est ainsi connue. Les surépaisseurs d'usinage sont ainsi connues, ce qui nous permet d'estimer avec un degré de certitude suffisant les efforts de coupe exercés par l'outil sur la pièce [17]. Une base d'éléments modulaires CAO est ainsi intégrée pour sélectionner les éléments technologiques.

## 3 Choix des éléments en contact avec la pièce

Le choix des éléments technologiques en contact avec la pièce est essentiellement issu de règles expertes. Ces règles sont formalisées pour répondre aux contraintes de qualité, d'accessibilité et de comportement mécanique. Le résultat final repose sur le compromis entre ces différentes contraintes.

### 3.1 Formalisation des connaissances pour le choix des éléments technologiques en contact avec la pièce

Le choix des éléments technologiques en contact avec la pièce est essentiellement fonction :

- de la qualité de la surface d'appui,
- du type d'opération d'usinage,
- de l'état de la surface d'appui (brute, ébauchée ou finie),
- de l'accessibilité,
- de la rigidité de la pièce,
- de la direction des efforts encaissés par les points d'appui,
- du défaut d'orientation de la surface d'appui

Nous faisons l'hypothèse que la pièce est considérée comme un solide indéformable. On ne considère que les déformations dites locales dues à la pression de contact entre la pièce et le montage d'usinage sous l'influence des efforts de bridage et de coupe. La pression de contact au droit des points d'appui

doit rester compatible avec les caractéristiques mécaniques du matériau pour éviter les déformations permanentes (1). Ces déformations ne sont pas rédhibitoires si la surface d'appui est usinée par la suite. Par contre, les déformations devront dans tous les cas être compatibles avec la qualité d'appui (interprétation des indicateurs de qualité). Pour le calcul de la pression de contact, la théorie de Hertz est couramment utilisée en mécanique. On doit comparer la pression maximale calculée avec la pression admissible par le matériau de la pièce.

$$p_{\max} \leq p_{\text{admissible}} \quad (1)$$

Le défaut de positionnement (FIG. 1) est donné par l'équation (2)

$$\delta = 1,23 \cdot \sqrt[3]{\frac{F^2}{E^2 \cdot R}} \quad (2)$$

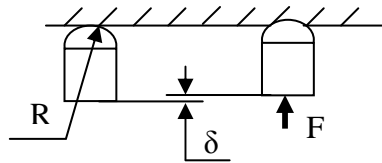


FIG. 1 Défaut de positionnement

### 3.2 Procédure de choix des éléments technologiques d'appui et de bridage

Notre étude se limite aux montages d'usinage constitués d'éléments modulaires assurant des appuis localisés aux six points d'appui. Pour le respect de la qualité on doit rester dans l'espace indiqué par les indicateurs de qualité issus de la prise de pièce (données d'entrée dans notre système). Le choix des éléments technologiques se fait par restriction progressive du domaine en respectant les contraintes de qualité, d'accessibilité et de comportement mécanique.

### 3.3 Algorithme de choix des éléments technologiques d'appui

L'algorithme de choix des éléments technologiques d'appui en contact avec la pièce est donné dans la FIG. 2.

## 4 Placement des éléments en contact avec la pièce

Après le choix des éléments technologiques, il faut les placer. Ce placement est optimisé de manière à répondre aux contraintes de stabilité, de qualité et d'accessibilité. Il est très difficile de répondre à toutes ces contraintes en même temps mais la recherche d'un compromis est possible. L'appui prépondérant assure la stabilité de la pièce. Le placement des éléments sur cet appui doit répondre à la contrainte de stabilité. Pour cela il faut avoir l'étendue de l'appui le plus grand possible. Cette stabilité est encore améliorée par l'appartenance du centre de gravité, de l'effort de bridage et de la résultante des efforts de coupe au domaine intérieur du triangle de sustentation formé par les trois points de l'appui prépondérant. La stabilité est maximale si pour une étendue maximale du triangle de sustentation, la distance entre le centre du triangle et le point d'application de ces trois grandeurs est minimale.

### 4.1 Stratégie de résolution

Une stratégie de résolution pour placer les éléments technologiques pour réaliser l'appui prépondérant est basée sur la recherche de la surface maximale du triangle de sustentation. De plus, le centre de gravité et l'effort de bridage doivent être le plus près possible du centre du triangle de sustentation et dans tous les cas à l'intérieur de ce triangle. Parmi les solutions possibles, les solutions où la résultante des efforts de coupe passe au plus près du centre du triangle de sustentation sont privilégiées.

Il est évident que les sommets  $A(x_1, y_1)$ ,  $B(x_2, y_2)$  et  $C(x_3, y_3)$  d'un triangle ayant une aire maximale, construit sur une surface quelconque se trouvent aux bords de cette surface.

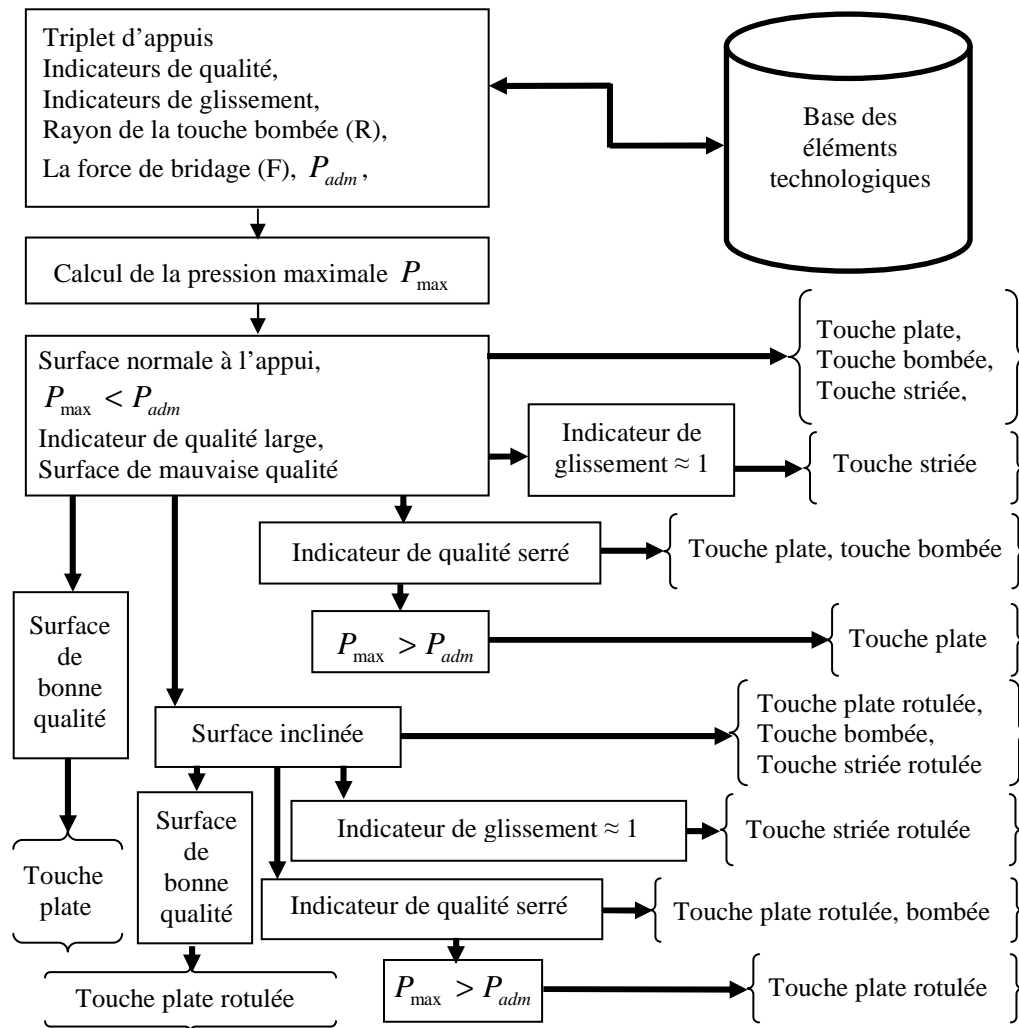


FIG.2 algorithme de choix des éléments technologiques en contact avec la pièce

Cette affirmation nous amène à décaler le contour de la surface d'appui d'une distance égale au rayon de la touche d'appui pour avoir les lieux potentiels de placement des points d'appui. Cette action permet de s'assurer que la touche d'appui soit en contact avec la matière de la surface d'appui, (FIG.3).

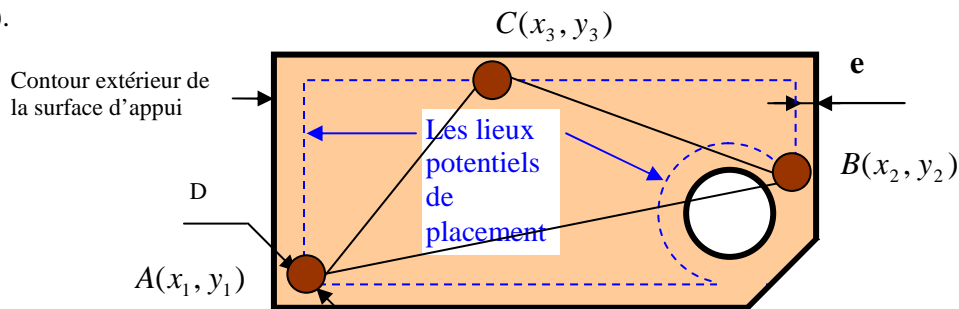


FIG.3 les lieux potentiels de placement des points d'appui de l'appui prépondérant

### 4.2 Formulation du problème d'optimisation

La surface du triangle est donnée par la relation :

$$S = \frac{1}{2} |(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)| \tag{3}$$

La fonction objective est la surface du triangle de sustentation à maximiser (4):

$$f = \text{Max}(S) \tag{4}$$

Les contraintes du problème sont :

- Le centre de gravité  $G(x_G, y_G)$  de la pièce et la résultante des efforts de bridage  $R_B(x_B, y_B)$  doivent être à l'intérieur d'un cercle concentrique au cercle inscrit dans le triangle de sustentation de rayon égale au rayon du cercle inscrit divisé par  $\beta$  si cela n'est pas possible, ils doivent être à l'intérieur du triangle de sustentation.
- La résultante des efforts de coupe  $R_C(x_C, y_C)$  doit être si c'est possible à l'intérieur du cercle inscrit dans le triangle de sustentation sinon au plus près du centre du triangle de sustentation.

La résultante des efforts de coupe est définie comme la succession des efforts de coupe associée aux opérations d'usinage qui est la plus pénalisante pour la stabilité de la pièce sur l'appui prépondérant. Le problème d'optimisation pour le placement des éléments technologiques pour l'appui prépondérant devient un problème d'optimisation non linéaire sous contraintes.

### Algorithme de résolution

- (1) Données d'entrée : l'étendue de la surface d'appui,  $(x_G, y_G)$ ,  $(x_B, y_B)$ ,  $(x_C, y_C)$ ,  $\beta$
- (2) Identification du triangle de sustentation ayant une aire maximale (optimisation sans contrainte). Cela permet d'avoir la valeur de l'aire maximale AireMax.
- (3) Si  $(x_G, y_G)$  et  $(x_B, y_B)$  sont à l'intérieur du triangle, on passe à l'étape suivante sinon il n'existe pas de solution.
- (4) Identification du triangle de sustentation répondant aux contraintes :  $G$  et  $R_B$  dans le cercle de rayon égal au cercle inscrit/ $\beta$ .
- (5) Si l'aire du triangle est égale à AireMax fin sinon  $\beta=1$  et on recherche l'aire du triangle. Si l'aire est égale à AireMax fin sinon solution étape 3.
- (6) Si  $(x_C, y_C)$  n'est pas dans le triangle alors il faut bien serrer la pièce.
- (7) Stop

L'optimisation est réalisée par l'outil **Constrained Nonlinear Optimization** de Matlab.

### 4.2.2 Résultats obtenus

La simulation est faite avec des contours formés de segments de droite et des arcs de cercle (FIG3.a) ce qui représente la forme des surfaces des pièces traitées. Différents points pour les contraintes ont été testés. Le respect des contraintes est en fonction de la valeur experte  $\beta$  (FIG.3b) et (FIG.3c). Dans (FIG.3d)  $\beta$  est égale à 1.

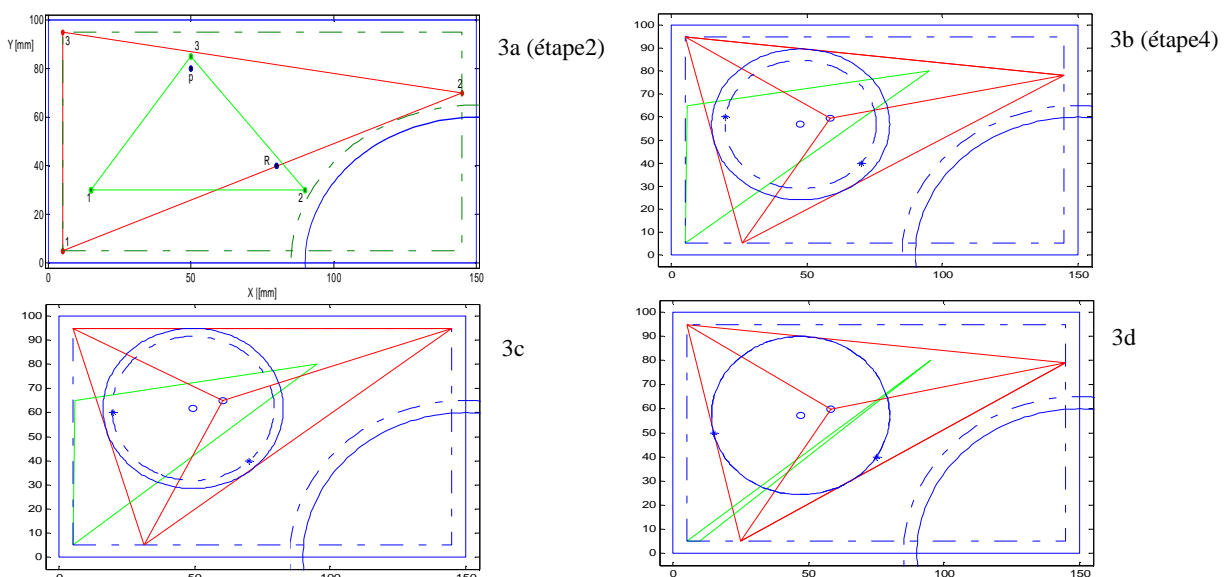


FIG.3 Les résultats obtenus

## 5 Conclusion

Dans cet article, une méthodologie de choix des éléments technologiques en contact avec la pièce est définie. Ensuite une stratégie pour placer les éléments en contact avec la pièce pour l'appui prépondérant est élaborée en respectant les contraintes de qualité, d'accessibilité, de stabilité et de comportement mécanique. Le choix des éléments technologiques en contact avec la pièce est issu de règles expertes. Le placement des éléments technologiques en contact avec la pièce répond à un compromis qui nous a forcé à proposer une fonction objective qui respecte au mieux l'ensemble des contraintes.

## Références

- [1] E.Caillaud, "Modélisation des connaissances : aide à la conception des montages d'usinage", Thèse, Université de Bordeaux I, 1995
- [2] Jiang-Liang Hou and A. J. C Trappey, "Computer-aided fixture design system for comprehensive modular fixtures", *Int. J. Prod. Res.*, 2001, vol. 39, n°. 16, 3703-3725.
- [3] J. Li, W. MA and Y. Rong, "Fixturing surface accessibility analysis for automated fixture design", *Int. J. Prod. Res.*, 1999, vol. 37, n°. 13, 2997-3016.
- [4] Z.J. Tao, A. Senthil Kumar and A. Y. C. Nee, "A Computational geometry approach to optimum clamping synthesis of machining fixtures", *Int. J. Prod. Res.*, 1999, vol. 37, n°. 15, 3495-3517.
- [5] A. Y. C. Nee, A. Senthil Kumar, Z. J. Tao, "An intelligent fixture with a dynamic clamping scheme", *Proc. Inst. Mech. Engrs.* 214 (2000) 183-196.
- [6] B.Li and S. N. Melkote, "Fixture clamping force optimisation and its impact on workpiece accuracy", *Int. J. Adv. Man. Tech.* 18 (2001).
- [7] J. Cecil, "A Clamping Design Approach for Automated Fixture Design", *Int J Adv Manuf Technol* (2001) 18:784-789.
- [8] Y. Wu, Y. Rong and W. Ma, S. R. LeClair "Automated modular fixture planning: Accuracy, clamping, and accessibility analysis", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 14, pp 17-26, 1998.
- [9] A. Santhil Kumar, V. Subramaniam and K. C. Seow, "Conceptual design of fixtures using genetic algorithms", *International Journal of Manufacturing Technology*, 15(2), pp. 79-84, 1999.
- [10] Y. Rong, W. Hu, Y. Kang, Y. Zhang and David W.Yen, "Locating error analysis and tolerance assignment for computer-aided fixture design", *Int. J. Prod. Res.*, 2001, vol.39, n°. 15, 3529-3545.
- [11] A. Senthil kumar, J.Y.H. Fuh, T.S. Kow, "An automated design and assembly of interference – free modular fixture setup", *Computer-Aided Design* 32 (2000) 583–596
- [12] W. Hu and Y. Rong, "A fast Interference Checking Algorithm for Automated Fixture Design Verification", *Int. J. Adv. Manuf. Techno* (2000) 16:571-581.
- [13] Y. J. Gene Liao, S. Jack Hu, "An Integrated Model of a Fixture-Workpiece System for Surface Quality Prediction", *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, (2001) 17:810-818.
- [14] Michael Yu Wang, Diana M. Pelinescu, "Contact Force Prediction and Force Closure Analysis of a Fixtured Rigid Workpiece With Friction", *J. Man. Sci. Eng* 2003
- [15] H. Paris, D. Brissaud, "Integration of the machining point of view in the product modelling : the fixturing features, in *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*", Kluwer Academic Publishers, ed. Chedmail, Bocquet, Dornfeld, 1997, ISBN 0-7923-4739-0, IDMME conference, Nantes, May 1996, pp. 121–130
- [16] H. Paris, D. Brissaud, Process planning strategy based on fixturing indicators evaluation, *Int. J Adv. Man. Tech.* 25 (2005) 913–922
- [17] H. Paris, A. Voisin, Estimate of workpiece deformations while machining in a process planning Context, in *3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, IDMME'2000, Montreal 17–19 May 2000.
- [18] D. Brissaud, "Système de conception automatique de gammes d'usinage pour les industries manufacturières", Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 1992.