

MODELISATION DE LA CHAINE D'ACQUISITION D'UNE MACHINE A MESURER TRIDIMENSIONNELLE

Reçu le 04/03/2002 – Accepté le 26/05/2003

Résumé

Issus de l'approche systémique, le concept de Groupe Fonctionnels permet de modéliser les problèmes présents dans l'industrie mécanique. Après l'avoir utilisé en cotation fonctionnelle et pour décrire le processus d'industrialisation, nous proposons de l'utiliser pour mettre en évidence les différents flux présents dans une machine à mesurer tridimensionnelle.

Par une modélisation basée sur le concept de Groupe Fonctionnel, nous proposons la procédure de mise en route d'une machine à mesurer tridimensionnelle. L'application de cette procédure d'initialisation permet de maîtriser le pilotage de ce procédé de mesure. Nous mettons en évidence les actions élémentaires qui sont nécessaires à une utilisation optimale de la machine à mesurer tridimensionnelle.

Mots clés: Machine à mesurer tridimensionnelle, approche systémique, acquisition des données.

Abstract

Born of the systemic approach, the functional group concept allows to model the current mechanical industry problems. After using it for functional measurement and to describe the industrialisation process, we suggest using it on order to display the different flows that exist in a Coordinate Measurement Machine (CMM).

By a modeling based on the functional group concept, we propose to establish the CMM logout. The implementation of this initialisation procedure gives us a full control on the measurement drive. This, we show the essential operations needed to a well use of the CMM.

Keywords: Coordinate Measurement Machine, systemic approach, acquisition data.

I. AMARA¹
S. BOUKEBBA¹
J.M. LINARES²
B. NECIB¹

¹Laboratoire de Mécanique
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Université de Mentouri
Constantine, Algérie

²Laboratoire EA(MS)
IUT d'Aix-en-Provence
Avenue Gaston Berger
F13625 Aix en Provence, France

ملخص

بعد ما إستعلننا مبداء الاجزاء المتصلة في وضع التوافقات على القطع الميكانيكية و بعد إستعماله في وصف المبادئ الاسلسمية لتصنيع، بهذا العمل نقدم طريقة جديدة بإستعمال مبداء الاجزاء المتصلة لوصف آلة القياسات ثلاثية الابعاد.

هذا الوصف يسمح لنا بوضع المناهج و الطرق التي يجب إتخاذها من طرف عامل النوعية من أجل سير حسن لعملية القياس ثلاثية الابعاد.

الكلمات المفتاحية: آلة القياس ثلاثية الابعاد - إكتساب المعطيات.

L'automatisation poussée d'une machine à mesurer tridimensionnelle a permis de réduire le temps d'acquisition et le traitement des mesures en vue de la vérification des spécifications imposées par le concepteur. Au cours des dix dernières années, ce procédé s'est fortement implanté dans l'industrie mécanique. Il est de nos jours un outil incontournable de la bonne maîtrise de la qualité.

Dans les années soixante et dix, sous l'impulsion de P. Bourdet et A. Clement [1, 2], les travaux sur l'automatisation des traitements des points palpés dans le référentiel machine ont donné naissance à plusieurs logiciels (Promesure, Mestrid, Marlène,...). Ces derniers sont basés sur le concept du torseur des petits déplacements. Aujourd'hui, cette automatisation poussée facilite la vérification et le contrôle des surfaces classiques ou complexes. L'opérateur manipule, dans les logiciels évolués, des menus qui l'éloignent des traitements internes réalisés par ces derniers. La bonne maîtrise de ce procédé de mesure implique une connaissance poussée du mode de fonctionnement de ce dernier pour une meilleure gestion et maîtrise de la qualité. Dans cet article, nous proposons de modéliser la chaîne d'acquisition d'une MMT, l'objectif poursuivi étant de proposer un modèle global permettant de mettre en évidence toutes les actions élémentaires à réaliser par l'utilisateur. La procédure sera

applicable quel que soit le constructeur de la machine à mesurer tridimensionnelle ou du logiciel de traitement.

1. OBJECTIF

Dans une phase de vérification, la première tâche que doit remplir une machine à mesurer tridimensionnelle, ou plutôt son logiciel de traitement, est de trouver les coordonnées des points M_j palpés dans un référentiel attaché à la pièce. Ce référentiel est choisi en fonction des spécifications que le contrôleur doit vérifier. Ce référentiel n'est pas unique dans une même phase de vérification d'une pièce. Pour remplir cette mission, une question se pose: quelles sont les actions initiales que doit réaliser l'opérateur de la machine avant de commencer sa séquence de vérification ?

Nous allons dans un premier temps modéliser la chaîne d'acquisition d'une MMT pour en extraire les différents flux la parcourant. Cette étape est nécessaire pour mettre en évidence les interactions présentes entre les constituants de la MMT. Dans un deuxième temps, nous proposons un traitement des points palpés sans linéarisation des fonctions trigonométriques avec une maîtrise statistique de l'incertitude de la mesure.

2. CONCEPT DE GROUPE FONCTIONNEL

Le concept de Groupe Fonctionnel est issu de l'approche systémique. Il permet de décrire aussi bien les processus transversaux que les décompositions verticales des procédés ou des produits [3]. Un Groupe Fonctionnel (Fig.1) est un ensemble d'entités (Touche de clavier d'ordinateur, palpeur d'une MMT,...) qui participe à la réalisation d'une fonction. La fonction est prise au sens large du terme (fonction saisie de données sur ordinateur, fonction palpée, fonction assemblage,...). Par entité, nous entendons un élément simple ou complexe qui ne peut être fractionné sans perdre de la plénitude et de la cohérence de ses attributs. Chaque entité peut être perçue sous différentes vues, sans que ses qualités intrinsèques ne soient altérées [4]. La construction du Groupe Fonctionnel est obtenue par l'application d'une loi de composition interne, donnant naissance à un comportement interne des entités constituant le Groupe Fonctionnel. Le comportement externe de celui-ci est conditionné par l'assemblage homogène et hiérarchisé des entités de ce dernier. La composition des Groupes

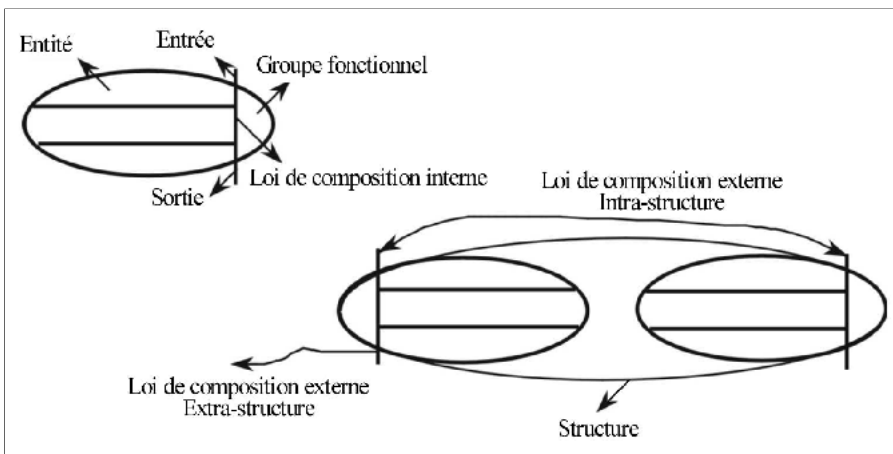


Figure 1: Exemple de Groupe Fonctionnel et de structure dans le cas général.

Fonctionnels est réalisée par des lois de composition externe. Le Groupe Fonctionnel progresse dans un réseau, ce qui lui demande d'être doté d'une entrée et d'une sortie, et peut être modélisé avec un outil mathématique (torseur des petits déplacements, matrice de translation ou de rotation....)[5].

3. MODELISATION DE LA CHAINE D'ACQUISITION D'UNE MMT

Pour illustrer cette modélisation, nous nous intéresserons à une machine de type portique (Fig.2) qui constitue la majorité des équipements dans l'industrie mécanique. Cette analyse serait identique par rapport à l'objectif fixé pour une structure en col de cygne ou autre.

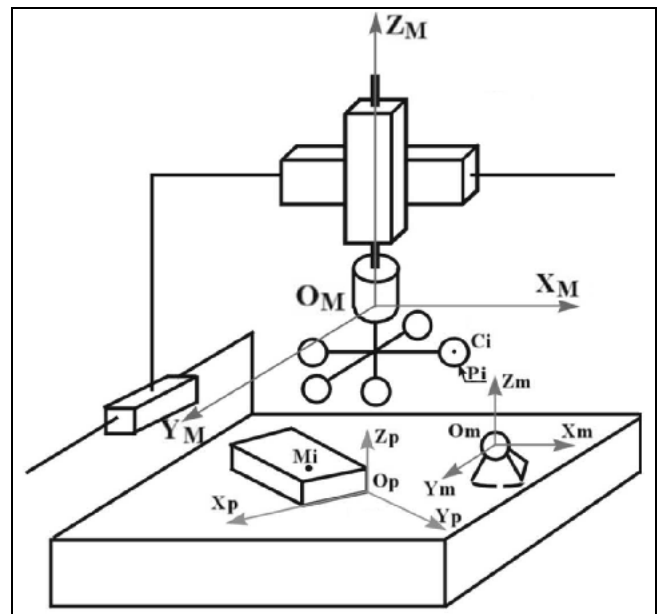


Figure 2: Machine de type portique.

Les éléments en présence sont les suivants:

- **Machine à mesurer:** Elle est constituée des glissières x, y, z équipées de règles optiques. Le marbre est l'élément support de la sphère de référence et de montage positionnant la pièce. Par rapport au marbre qui est fixe, les surfaces de liaisons prévues pour le montage du capteur se déplacent grâce à la mobilité des trois glissières. Le déplacement occasionné est mesuré sur les règles optiques par un système d'acquisition.
- **Logiciel de traitement:** Il récupère les coordonnées d'un point courant (PtCour) choisi arbitrairement sur le dernier mobile par rapport à une origine fixe machine. Elle est positionnée par des butées physiques. A partir de ces coordonnées et d'autres

indications fournies au logiciel, il calcule les coordonnées de points M_i palpés dans un référentiel attaché à la pièce.

- **Pièce:** Elle est représentée par les surfaces d'appui sur le porte-pièce et l'échantillon de points M_i palpés.
- **Porte pièces:** Il est symbolisé par l'isostatisme et les surfaces de contact avec le marbre de la machine à mesurer tridimensionnelle.
- **Capteur:** Il est constitué par l'ensemble de tête de palpage (5 rubis comme configuration maximale). Les éléments importants sont le point de contact entre le rubis et la pièce, le centre du rubis et les surfaces de liaison avec la machine à mesurer tridimensionnelle.
- **Système de pré-traitement:** C'est une carte d'acquisition et de comptage. Lors d'un déplacement, il y

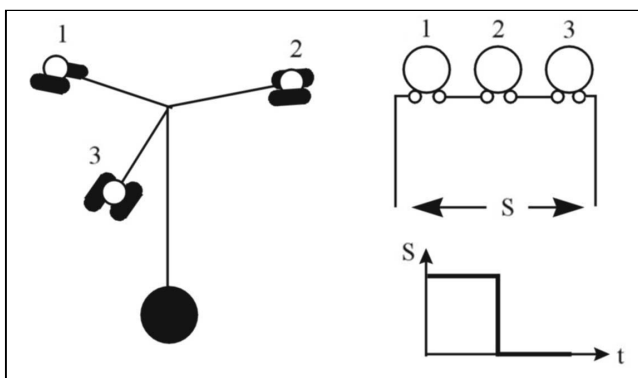


Figure 3: Front descendant du capteur.

a création d'un signal en forme de créneau (impulsion) par les règles optiques incrémentables. Le système de pré-traitement comptabilise les impulsions. Sous l'action d'un front descendant généré par le capteur (Fig.3), il arrête d'inventorier les impulsions sur les trois axes et envoie la sommation (coordonnées du point courant par rapport à OM dans le référentiel machine) au logiciel.

- **Homme:** Il est un élément de commande sur le logiciel. Par manipulation du logiciel, il doit effectuer la vérification d'une pièce mécanique.

Chacun des éléments est modélisé par une structure comprenant un nombre minimum de deux Groupes Fonctionnels; la modélisation obtenue est présentée à la figure 4. Elle permet de représenter le processus d'acquisition avec un niveau de finesse suffisant pour les besoins de l'étude. Une analyse de décomposition plus élevée est cependant possible mais non nécessaire.

On dénombre 4 flux principaux :

Flux 1: Boucle de positionnement ou de repérage (MMT, Capteur, Pièce, Sphère, Référence) : Il est le flux central du processus tous les autres flux en dépendent.

Flux 2: Boucle d'acquisition (MMT, Capteur, Pré-traitement) : Cette boucle permet, lors du contact de la rubis du capteur avec la pièce, de générer un front descendant. Celui-ci est pris comme un ordre de lecture par le système de pré-traitement pour acquérir la valeur du compteur sommant les impulsions générées par les règles optiques des

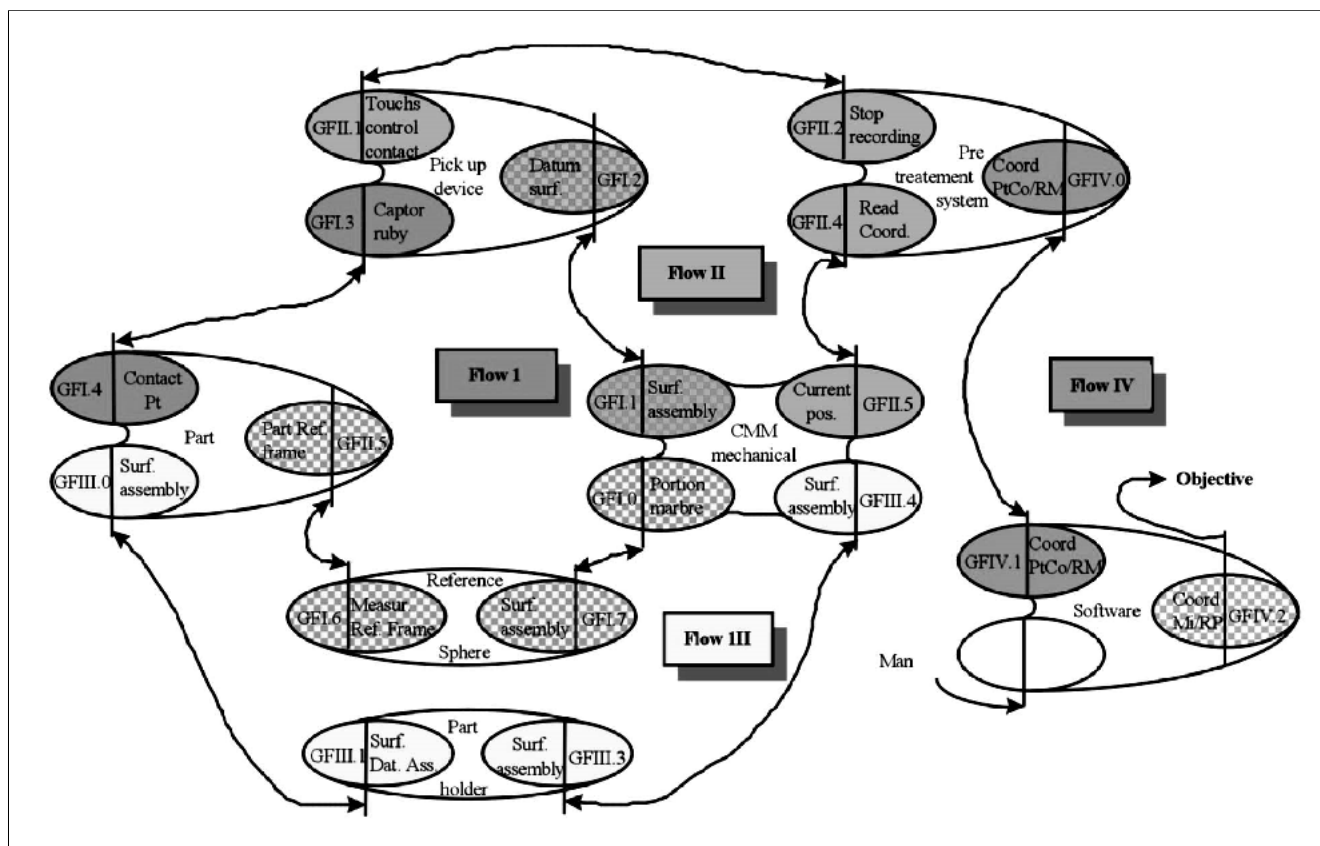


Figure 4: Chaîne d'acquisition.

trois axes (X_M, Y_M, Z_M). Le résultat obtenu est la position du point courant dans le référentiel machine (initialisé au zéro par contact sur trois butées).

Flux 3 : Boucle mécanique (MMT, Porte pièce, Pièce, Sphère) : Elle n'influe le Flux 1 que lorsque l'acquisition du référentiel pièce n'est pas réalisée sur chaque pièce.

Flux 4 : Chaîne de traitement (Pré-traitement, Logiciel) : Ce flux récupère une donnée pré-traitée qui est constituée par les coordonnées du point M_i dans le référentiel machine. Pour remplir l'objectif fixé, la chaîne de traitement doit réaliser un ensemble d'opérations qui va permettre de trouver les coordonnées du point M_i dans le référentiel pièce.

Grâce à la modélisation réalisée et aux équations vectorielles qui en découlent, on est capable de proposer un organigramme d'initialisation d'une machine à mesurer tridimensionnelle. Cet organigramme sera vrai quelle que soit la marque et le logiciel de la machine à mesurer (Fig.5).

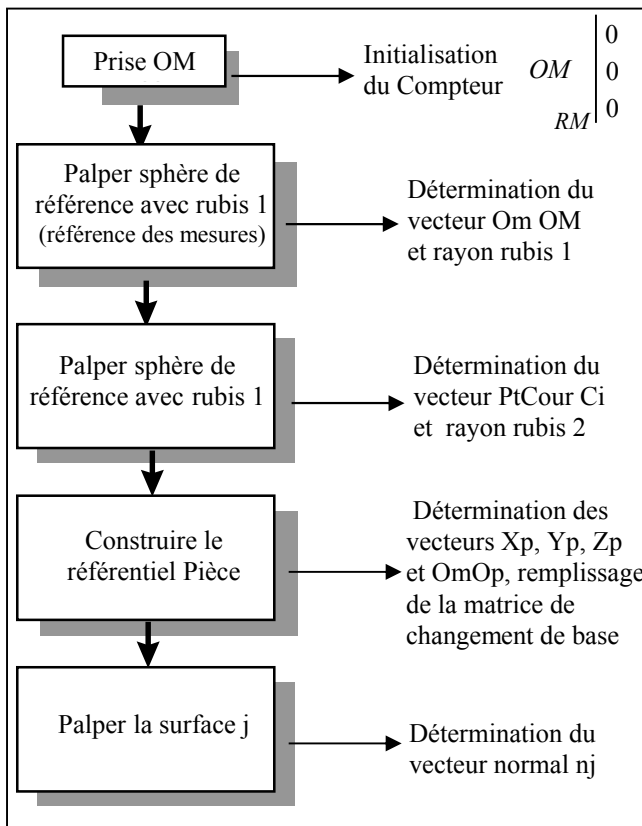


Figure 5 : Organigramme d'initialisation d'une MMT.

Dans un premier temps, on vient initialiser le compteur de la machine à mesurer par un accostage sur les butées prévues à cet effet. L'origine machine doit être choisie sur un point appartenant au mobile formé par la partie de la glissière Z sortante et le capteur. Selon le logiciel utilisé, on retrouve différentes solutions. Par exemple, pour le logiciel Metromec de MetroSoft, l'origine machine est définie lors du choix du premier rubis avec lequel on vient palper la sphère de référence. Pour DEA, et plus particulièrement pour le logiciel Tutor, il faut entrer un offset correspondant

à la longueur de l'ensemble capteur par rapport à son logement sur la machine (X mm). L'origine machine est donc choisie à X mm du premier palpeur suivant Z qui est étalonné sur la sphère de référence. Dans un deuxième temps, il est nécessaire de venir positionner la sphère de référence par rapport à l'origine machine (Fig. 6).

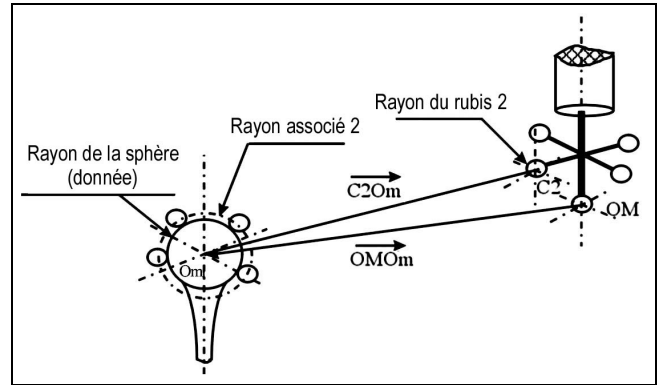


Figure 6 : Positionnement de la sphère de référence.

Cette opération va utiliser généralement une procédure machine d'étalonnage du capteur. Elle est constituée par un algorithme de calcul permettant d'associer au nuage de points palpés sur la sphère de référence, une surface théorique qui représente au mieux l'état fonctionnelle de cette dernière [6].

$$y_i = d_i - R \text{ avec } d_i = \sqrt{(x'_1 - h'_1)^2 + (x'_2 - h'_2)^2 + (x'_3 - h'_3)^2}$$

La méthode d'optimisation généralement utilisée est la méthode de moindres carrés :

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n y_i^2}{\partial a_j} = 0, \text{ avec } n \text{ le nombre de points palpés.}$$

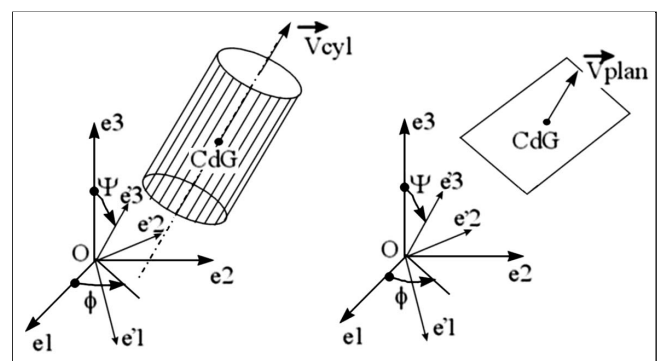


Figure 7 : Exemple d'attributs des surfaces associées.

Par un pré-traitement des données, nous récupérons un fichier de points sous le format VDA. Nous déterminons dans un premier temps, dans le référentiel de mesure, les vecteurs directeurs et le centre de gravité des surfaces associées au nuage de points fournis par le fichier VDA [7]. Les attributs aux surfaces associées sont obtenus avec leurs incertitudes après une optimisation de l'écart y_i (Fig.7) [8,9].

CONCLUSION

La modélisation de la machine à mesurer tridimensionnelle ouvre des perspectives pour l'analyse des sources d'erreurs et d'incertitudes. Comme nous l'avons montré, la bonne maîtrise de ce procédé passe par une bonne connaissance de la méthodologie d'initialisation d'une machine à mesurer tridimensionnelle. L'automatisation du calcul des incertitudes de mesure permet d'envisager la réalisation de plans d'expériences afin de mettre en évidence les facteurs les plus influents dans le traitement du doute occasionné par la phase d'initialisation de la machine à mesurer, en se basant sur notre modélisation du processus élémentaire de mesure tridimensionnel. Ils nous permettent aussi de prévoir les précautions à prendre afin de diminuer les incertitudes sur les résultats de la mesure.

REFERENCES

- [1]- Bourdet P., "Contribution à la mesure tridimensionnelle : modèle d'identification des surfaces, métrologie fonctionnelle des pièces mécaniques, correction géométrique des machines à mesurer tridimensionnelles", Thèse d'état, Nancy-LURPA ENS Cachan, 23 Juin (1987), 224 p.
- [2]- Bourdet P., "A study of optimal criteria, identification based on small displacement screw model", CIRP annals 1998, Manufacturing Technology, Vol. 37, Janv. (1988).
- [3]- Linares J.M., "Contribution à l'étude de la cotation fonctionnelle par une approche systémique", thèse de docteur en mécanique, n° 0114, INSA de Lyon, (1996).
- [4]- Linares J.M., Boukebbab S., Sprael J.M., "Co-operative engineering approach : Tolerancing, Control, Processing", the CIRP Seminar STC Design, New tools and workflows for product development, Berlin, May 14-15, (1998), 12 p.
- [5]- Linares J.M., Sprael J.M., Marty C., "Analyse du processus élémentaire de mesure". *Revue Contrôle Industriel*, n°205, (1997).
- [6]- Boukebbab S., "Contribution à l'étude des discontinuités présentes dans les mécanismes en vue d'une ingénierie coopérative", Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers Aix-en-Provence, (1998), 168p.
- [7]- Amara I., Boukebbab S., Linares J.M., Necib B., "Acquisition de données sur machine à mesurer tridimensionnelle", 4^{èmes} Journées Maghrébines d'études de Génie Mécanique, Institut de Génie Mécanique, université de Mentouri Constantine, 28-30 Nov. (1999), pp. 226-231.
- [8]- Linares J.M., Sprael J.M., Bourdet P., "Propagation de l'incertitude d'acquisition dans la chaîne de traitement d'une MMT", 9^{èmes} Congrès international de métrologie, Bordeaux, France, Oct. (1999), pp 185-188.
- [9]- Amara I., Linares J.M., Sprael J.M., "CMM Acquisition chain", 33^{èmes} Congrès international MATADOR, Institute of Science and Technology, University of Manchester, UK, Juillet (2000), pp. 229-234. □