



**HAL**  
open science

## Approche de l'étude dynamique du système main-bras

François Bermond, Joannés Dimnet, Roger Gaertner

► **To cite this version:**

François Bermond, Joannés Dimnet, Roger Gaertner. Approche de l'étude dynamique du système main-bras. 3rd International Symposium of International Section of the ISSA, International Social Security Association, for Research on Prevention of Occupational Risks, Apr 1989, VIENNE, Autriche. 7 p. hal-02317525

**HAL Id: hal-02317525**

**<https://hal.science/hal-02317525v1>**

Submitted on 30 Jan 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## APPROCHE DE L'ETUDE DYNAMIQUE DU SYSTEME MAIN-BRAS

F. Bermond, J. Dimnet et R. Gaertner  
Université Claude Bernard - Lyon I  
43, boulevard du 11 Novembre 1918  
69621 Villeurbanne Cedex - France

### INTRODUCTION

L'utilisation de machines vibrantes est considérée comme une cause d'apparition de diverses maladies ostéo-articulaires (maladie de KIENBÖCK, arthrose du coude) et neuro-angiotiques (syndrome de RAYNAUD). Cependant, l'origine de ces pathologies n'est pas toujours isolée et le processus qui y conduit n'est pas clairement établi.

L'objectif poursuivi ici est de déterminer l'état mécanique des constituants du membre supérieur lors de l'exécution d'une tâche au cours de laquelle une sollicitation dynamique se superpose à une sollicitation statique.

A défaut de disposer de moyens expérimentaux qui permettraient de mesurer les efforts internes, la seule approche possible est la modélisation. Partant d'une étude de l'anatomie fonctionnelle du système main-bras, on propose tout d'abord de déterminer les efforts statiques internes au mécanisme équivalent en utilisant des techniques de robotique. On procède ensuite au calcul de la réponse de la structure à une excitation sinusoïdale et, par conséquent, des efforts dynamiques internes. Enfin, on étudie le problème du contact constitué par les articulations sollicitées par les efforts statiques et dynamiques internes pour déterminer le champ de pression articulaire.

### PRESENTATION DU PROBLEME

Le système main-bras est une structure complexe assimilable à un mécanisme dont les os sont les éléments, reliés par les articulations qui en réalisent la cinématique. Les muscles actionnent le mécanisme par effet de leviers.

L'analyse fonctionnelle fait apparaître que, les muscles n'agissant que par contraction, chaque sens du jeu d'une

articulation est commandé par un ou plusieurs muscles spécialisés. Ainsi, les muscles sont disposés par groupes agonistes et antagonistes. Leurs actions, différenciées, se ramènent à une résultante qui tend à stabiliser l'articulation en comprimant les cartilages des terminaisons osseuses, et un couple résultant qui assure le positionnement ou le mouvement angulaire. D'autre part, l'indépendance de la contraction d'un faisceau musculaire vis-à-vis des tissus adjacents est assurée par l'aponévrose qui l'enveloppe. Le champ des déplacements affectant la masse musculaire n'est donc pas continu d'un muscle à l'autre, du moins du point de vue de sa composante longitudinale. Ainsi, dans une approche simplifiée, chaque muscle peut être considéré comme n'étant relié à la structure que par ses insertions tendineuses.

Concernant les propriétés des matériaux, si le module d'élasticité des os est constant, celui des muscles est très variable en fonction de leur niveau d'activité. Or, celui-ci dépend notamment de l'effort statique qu'ils doivent produire. De même, la raideur des articulations résultant de l'élasticité des cartilages et des ligaments dépend de manière non linéaire des efforts statiques qu'elles transmettent et de leur angulation. Os, muscles et articulations sont donc des éléments respectivement passifs, actifs et adaptatifs.

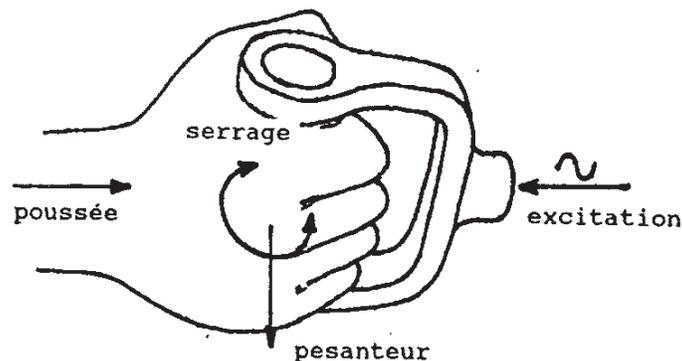


Fig. 1

Ces particularités fonctionnelles et rhéologiques du système main-bras nécessitent qu'une analyse statique soit effectuée avant d'envisager l'analyse dynamique. En effet, les forces statiques extérieures destinées à contrôler la posture, tenir la machine et exécuter la tâche (Fig. 1) engendrent des contraintes dans les muscles et des pressions dans les articulations. C'est autour de cet état statique et dépendant de lui du fait des propriétés élastiques des muscles

et de la raideur des articulations que s'établit le régime vibratoire.

#### MODELE FONCTIONNEL

La première étape consiste à définir le mécanisme équivalent au système main-bras afin de déterminer les efforts globaux exercés par les muscles et ceux qui sont transmis par les articulations lors de l'exécution d'une tâche. Il est représenté à la figure 2 avec ses degrés de liberté fonctionnels  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_7$ . La pronation-supination réalisée par des mouvements relatifs du radius et du cubitus a été arbitrairement affectée au coude.

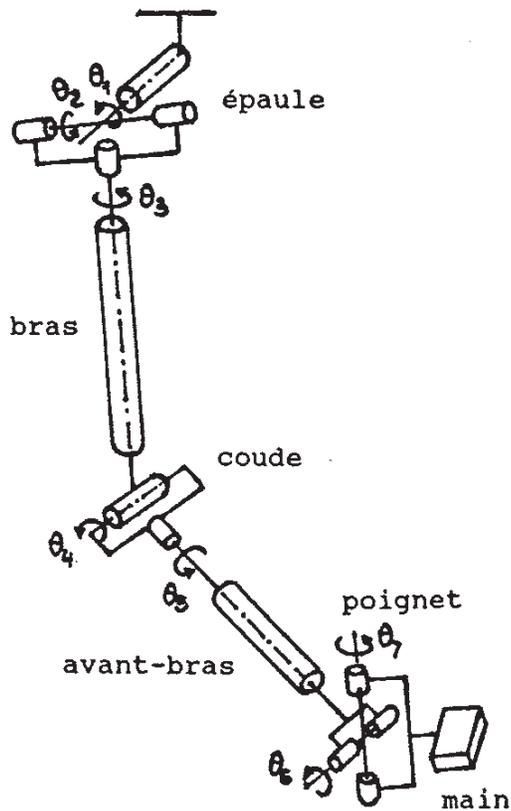


Fig. 2

A partir d'une étude anatomique détaillée, les muscles sont représentés de manière filaire. Ils relient les extrémités de leviers solidaires des os, figurant les points d'insertion. Ces muscles sont dits mono- ou pluri-articulaires selon qu'ils franchissent une ou plusieurs articulations. La figure 3 montre les muscles mono-articulaires du coude et la représentation filaire qui en est faite.

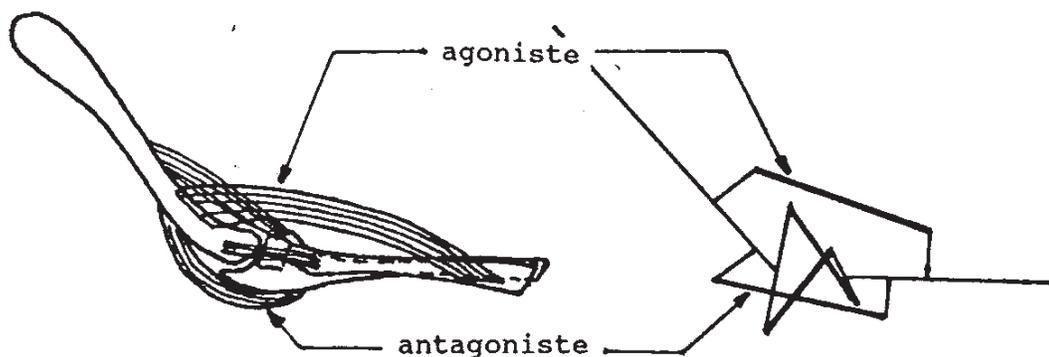


Fig. 3

Le mécanisme complet, équipé des fils simulant les différents muscles, constitue le modèle fonctionnel du système main-bras. Les techniques de la robotique permettent de calculer les couples qui doivent être exercés suivant chaque degré de liberté des articulations ainsi que les forces qu'elles transmettent, sous l'effet de forces extérieures connues. Cependant, comme plusieurs muscles (agoniste et antagoniste) contribuent à la constitution d'un couple et d'une force de stabilisation, le problème est hyperstatique. La participation individuelle de chaque muscle ne peut être déterminée qu'en recourant à des mesures électro-myographiques.

L'exploitation de ce modèle fonctionnel fournit, en fin de compte, les efforts statiques globaux dans les muscles et les articulations, dus à des forces extérieures connues, lors de l'exécution d'une tâche, dans une posture déterminée.

#### MODELE DYNAMIQUE

L'état statique du système étant connu, il s'agit maintenant d'étudier le régime vibratoire qui s'y superpose lorsque la machine utilisée génère une excitation. Alors que le spectre du signal d'excitation est variable suivant le type de machine, on fait ici l'hypothèse d'une excitation sinusoïdale.

Du fait de la complexité et de l'inhomogénéité de la structure main-bras, la description de ses propriétés élastiques, inertielles et dissipatives nécessite une discrétisation du domaine concerné, respectant la forme et la spécificité des constituants. Ces propriétés sont caractérisées par des matrices raideur, masse et amortissement.

Os et muscles sont modélisés au moyen d'éléments finis tridimensionnels mais la taille de leurs matrices caractéristiques est réduite afin de diminuer le volume des calculs ultérieurs.

Pour les os, cette réduction se fait par la technique de condensation de Guyan. Chaque extrémité comporte alors un noeud unique à 6 degrés de liberté (ddl) - 3 translations et 3 rotations - afin d'assurer la jonction avec les articulations. Les noeuds intermédiaires à 3 ddl sont destinés à recevoir les insertions tendineuses.

Pour chaque muscle, le module d'élasticité est fixé en fonction de son niveau d'activité et de l'effort statique qu'il produit dans la configuration étudiée. Comme ils ne sont connectés à la structure que par l'intermédiaire de leurs terminaisons tendineuses, leurs matrices caractéristiques réduites se rapportent aux seuls ddl physiques des noeuds d'extrémités et à quelques coordonnées modales (méthode de sous-structuration dynamique).

En raison de leur complexité, les articulations sont considérées globalement comme des éléments fonctionnels dont les matrices raideur et amortissement sont déterminées expérimentalement sur pièces cadavériques. Chacun des deux noeuds d'une articulation est doté de 3 ddl en translation et de 3 ddl en rotation.

Après qu'aient été assemblées les matrices caractéristiques de tous les constituants, le calcul de la réponse de la structure à une excitation sinusoïdale fournit, pour chaque valeur de la fréquence, l'amplitude du déplacement des noeuds. Le rapport entre la force d'excitation et l'accélération au point d'excitation représente la masse dynamique du système.

Le modèle doit alors être validé expérimentalement par comparaison des courbes de masse dynamique calculée et mesurée dans des conditions identiques.

---

A partir du champ des déplacements dynamiques calculé à une fréquence d'excitation, il est maintenant facile d'accéder aux forces intérieures dynamiques, qu'il s'agisse des contraintes dans les os et les muscles ou des efforts articulaires.

## MODELE ARTICULAIRE

Comme le modèle fonctionnel fournissait l'effort statique global transmis par une articulation, le modèle dynamique fournit l'effort dynamique global sans préciser la manière dont se répartit cet effort au travers des surfaces cartilagineuses en contact.

Un modèle articulaire procède alors à une description détaillée de ces parties, tant du point de vue de leur géométrie que des propriétés mécaniques de leurs constituants (os dur, cartilage), afin de résoudre le problème non linéaire du contact entre solides déformables (Fig. 4).

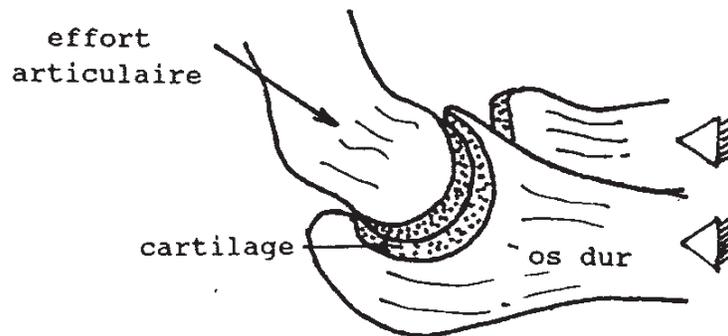


Fig. 4

Sous l'effet d'un effort articulaire connu, on recherche le champ de pression au contact. On distingue alors la pression moyenne résultant de l'effort articulaire statique et la pression maximum due à la superposition des efforts articulaires statique et dynamique.

Cette décomposition devrait permettre d'apprécier le caractère aggravant d'une sollicitation vibratoire lorsqu'elle se surajoute aux efforts nécessités par l'exécution d'une tâche.

## CONCLUSIONS

La démarche de modélisation proposée constitue une approche réaliste. Contrairement aux modèles a priori constitués de masses, ressorts et amortisseurs, elle rend compte des particularités anatomiques, morphologiques et physiologiques du système main-bras. Elle est aussi cohérente puisqu'elle ne considère pas le phénomène vibratoire indépendamment des conditions ergonomiques dans lesquelles il se développe.

L'exploitation de tels modèles permettra de connaître l'état mécanique, jusque là non quantifiable, des tissus où se développent des pathologies. Des corrélations devront être recherchées entre cet état mécanique et l'altération des propriétés physiologiques. Des règles de prévention pourraient en découler.

La mise en oeuvre de ces modèles est en cours à l'heure actuelle mais n'est pas encore suffisamment avancée pour avoir donné des résultats.

Le cas du système main-bras constitue un test de faisabilité en vue de l'extension de la méthode au corps entier.

#### Remerciements

Les auteurs remercient le Comité Bruit et Vibrations du Ministère de l'Environnement, la Direction des Recherches et Etudes Techniques (DRET) et l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) pour leur participation au financement de cette étude.

---