



**HAL**  
open science

## Actionneurs modulaires plats à flux réparti

Jamel Nouri, Jean-Loup Florens, Claude Cadoz

► **To cite this version:**

Jamel Nouri, Jean-Loup Florens, Claude Cadoz. Actionneurs modulaires plats à flux réparti. European Power Electronics Symposium 1994, 1994, Lausanne, Suisse. pp.4. hal-00910605

**HAL Id: hal-00910605**

**<https://hal.science/hal-00910605>**

Submitted on 3 Jun 2014

**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.

# ACTIONNEURS MODULAIRES PLATS A FLUX REPARTI

J. Nouiri, J. L. Florens, C. Cadoz

Association pour la Création et la Recherche sur les Outils d'Expression (ACROE)  
Laboratoire d'Informatique Fondamentale et d'Intelligence Artificielle (LIFIA)  
INPG 46, av Felix Vialet 38031 Grenoble cedex.

**Résumé** - On présente dans cet exposé un dispositif de commande gestuelle à retour d'effort développé au sein du laboratoire ACROE<sup>1</sup> et plus particulièrement la technologie de l'actionneur à flux reparté mis au point pour cette application. On exposera les performances et les caractéristiques d'une réalisation de cette technologie : le Clavier Rétroactif Modulaire ainsi que les applications en cours de ce dispositif.

## INTRODUCTION

L'ACROE travaille depuis 1976 sur les modèles physiques pour la synthèse de sons et d'images ainsi que pour d'autres applications telles que la robotique et la téléopération. Elle a développé un système de modélisation et de simulation, appelé Cordis-Anima qui comprend un modèleur d'objets physiques (décrit dans [1]) et simulateur permettant la simulation synchrone temps réel de ces modèles. Ce simulateur est supporté par une architecture matérielle multiprocesseurs constituée de processeurs de calcul vectoriel et de processeurs d'entrée/sortie des signaux gestuels, visuels et acoustiques. Grâce à cet outil, l'utilisateur agit gestuellement sur des objets physiques simulés et dans le même temps perçoit les comportements de ces objets, par les images, les sons et les forces qu'ils produisent. On dit qu'il est en relation instrumentale avec les objets physiques simulés, par analogie avec la situation instrumentale naturelle. De même, le type de geste effectué dans cette situation se nomme geste instrumental, par opposition avec le geste non-instrumental comme le geste libre par exemple.

La relation instrumentale, s'appuie sur trois modalités sensorielles combinées et consécutives à une action gestuelle : une perception sonore, une perception visuelle et une perception proprio-tactilo-kinesthésique, appelée par la suite en abrégé dans le texte perception gestuelle. Pour les deux premières modalités, des transducteurs classiques (écran et haut parleur) existent. Pour le canal de perception gestuelle, des transducteurs spécifiques doivent être développés. Ceux-ci doivent assurer la double fonction d'émission des données mécaniques du geste instrumental ( fonction de capture ) et reproduire des phénomènes (déplacement, force)

concernant la perception gestuelle : ce sont les transducteurs gestuels rétroactifs TGR "Fig. 1". Notre équipe a développé plusieurs prototypes successifs de TGR. Dans une première réalisation, le TGR est constitué d'un stick à un degré de liberté porté par un chariot se déplaçant sur deux guides horizontaux de 0.5 m d'ambitus [3]. Ce dispositif est équipé d'un capteur de position inductif et d'un capteur de force à jauge de contrainte assurant la capture des données gestuelles de l'opérateur ainsi que d'un moteur à vitesse constante associé à un système à embrayage pour le retour d'effort. La deuxième réalisation, est une touche à un degré de liberté dont les dimensions sont inspirées de celle d'une touche de piano, avec un enfoncement plus important (0.05 m) [4]. Cette touche est équipée d'un moteur couple, d'un capteur de force en bout de la touche et d'un capteur de position angulaire.

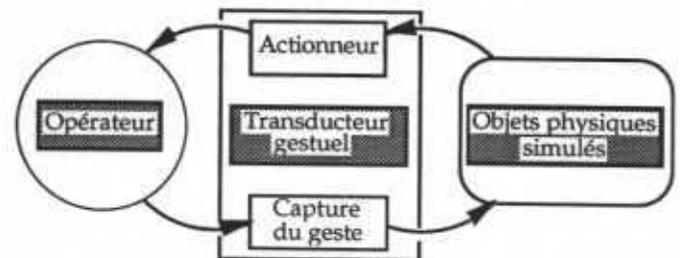


Fig. 1 : principe des transducteurs gestuels rétroactifs

Ces dispositifs ont fait l'objet d'expérimentations intensives sur le geste instrumental (identification du geste etc.) [5], sur les perceptions gestuelles, et sur les corrélations entre les perceptions gestuelles et les perceptions sonores, d'une part, et entre les perceptions gestuelles et les perceptions visuelles d'autre part. Toutes ces expérimentations ont abouti à des résultats et des constatations qui ont permis de définir le profil de performances requises pour la conception des transducteurs gestuels à retour d'effort et de préciser le concept de communication instrumentale. Dans la suite du présent papier nous présenterons le dernier prototype des transducteurs gestuels rétroactifs. Nous exposerons la technologie du moteur à flux réparti développée dans notre laboratoire ainsi que les performances et les applications d'une réalisation de cette technologie :

<sup>1</sup> Centre de recherche du Ministère de la culture et de la francophonie, collaborant avec le LIFIA (IMAG).

Le clavier rétroactif modulaire "CRM".

### I. ACTIONNEURS A FLUX REPARTI

Les critères déterminants pour la conception de transducteurs gestuels rétroactifs sont définis à partir de trois niveaux de connaissances. Le premier concerne l'opérateur, plus précisément ses performances perceptives et motrices : sa résolution spatiale du toucher, sa résolution temporelle se rapportant à la perception d'une suite temporelle de contact qui est de l'ordre de la milliseconde, les forces développées pour différents types de gestes d'interactions qui peuvent atteindre plusieurs dizaines voire même quelques centaines de Newtons sur des temps très courts dans des interactions de type percussion. En plus de ceci, d'autres contraintes d'ordre ergonomique doivent être prises en compte : compacité, un grand nombre de degrés de liberté (nous disposons de 23 degrés de liberté pour la main), l'amplitude du mouvement. Le deuxième niveau de connaissances concerne les modèles simulés, ceux-ci doivent être capables de reproduire le plus fidèlement possible les caractéristiques intrinsèques et les comportements des objets réels (leurs poids, leur état de surface, la nature du matériau etc.). Le troisième niveau est relatif à l'interaction entre l'opérateur et l'objet simulé. Cette interaction s'effectue selon une chaîne complexe de contrôle et de calcul : chaînes analogiques, stabilité des systèmes à retour d'effort, résolution des équations modélisant l'objet physique en un temps donné.

Le dispositif d'interface gestuelle doit être mécaniquement transparent vis à vis de l'interaction entre l'opérateur humain et les modèles simulés ce qui suppose que les éléments mobiles soient à frottements et à inerties les plus faibles possibles .

Afin de répondre à toutes ces contraintes: dynamiques, statiques, ergonomiques ... l'ACROE a développé la technologie des actionneurs à flux réparti [6][7].

1).Principe et structure du dispositif : Le principe de la technologie des actionneurs à flux réparti consiste à construire un dispositif formé d'une multitude d'actionneurs linéaires indépendants agencés selon différentes formes géométriques (rectiligne, cylindrique...) et qui se partagent un même circuit d'excitation magnétique. Le dispositif est alors constitué d'un assemblage côte à côte d'un module appelé "AMP" : Actionneur Modulaire Plat. Ce sont des actionneurs linéaires à déplacement en translation ou en rotation d'angle faible. Chacun de ces actionneurs est composé d'une bobine mobile se déplaçant parallèlement entre deux couches d'aimants permanents "Fig. 2". Dans le cas de la structure rectiligne, la fermeture des lignes du flux est assurée par des tôles métalliques disposées sur les

extrémités du dispositif.

Cette structure particulière d'empilement d'AMP permet d'avoir d'excellentes performances dynamiques dans des structures très compactes. L'ACROE a adopté la structure rectiligne pour réaliser son clavier rétroactif modulaire à 16 degrés de liberté. Cette structure confère au CRM une plus grande modularité et une plus grande extensibilité. En effet, l'extension du nombre de degrés de liberté se fait par ajout d'un ou de plusieurs modules d'actionneurs.

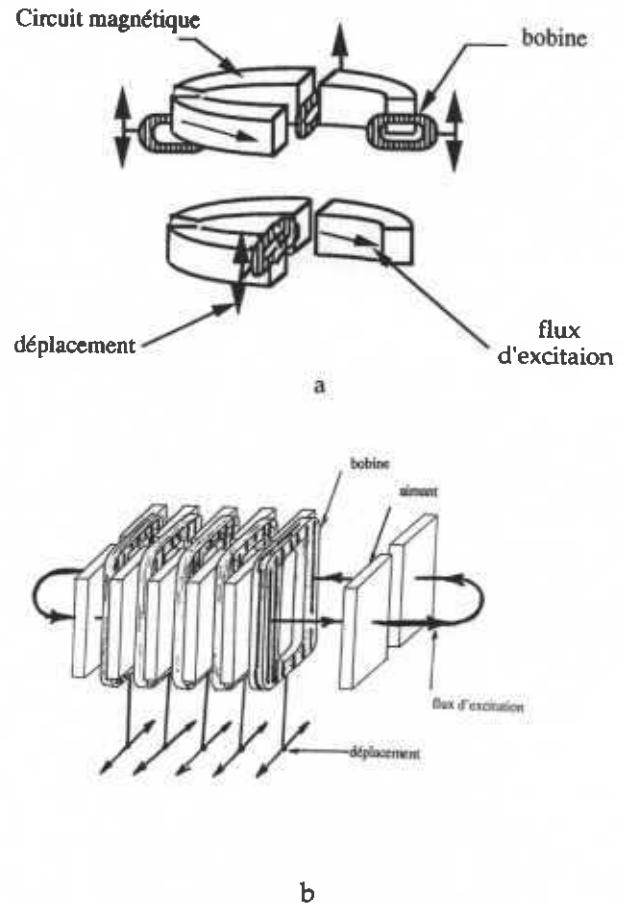


Fig. 2 Principe et structure de dispositifs à actionneurs à flux réparti  
a : structure cylindrique, b : structure rectiligne.

Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser au Clavier Rétroactif Modulaire. Nous exposerons ses caractéristiques fonctionnelles et morphologiques ainsi que ses performances électromécaniques.

2). Caractéristiques et performances : L'originalité de ce dispositif réside dans les performances qu'il peut développer dans un encombrement réduit. En effet, l'épaisseur du module de base AMP, est inspirée de la largeur d'une octave d'un piano standard qui est de 0.165 m pour 12 touches soit une

moyenne de 0.01375 m par touche. Ces dimensions sont également approximativement celles d'un clavier alphanumérique standard. Étant donnée cette valeur, les épaisseurs respectives de la bobine et de l'aimant sont optimisées de façon à avoir le maximum de force. La "fig. 3" illustre l'allure de la force et de l'épaisseur de la bobine en fonction de celle de l'aimant pour une épaisseur totale d'un AMP constante et un entrefer donné.

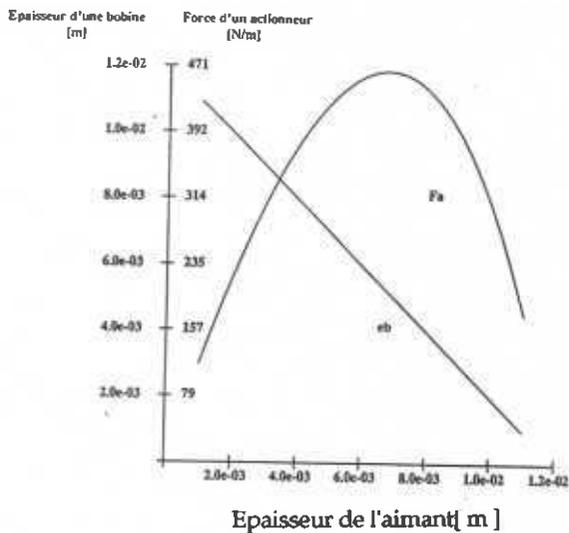


Fig. 3 : Force et épaisseur de la bobine en fonction de l'épaisseur de l'aimant

Dans son état actuel, chacun des actionneurs du clavier rétroactif modulaire peut développer une force moyenne de 20 N et des pics de force qui peuvent atteindre plus de cent Newtons sur des laps de temps très courts. Pour illustrer cette dernière caractéristique, nous avons tracé à la "fig. 4" la réponse en force d'un actionneur à une excitation gestuelle du type percussion. La force atteint dans ce cas 187 N sur une durée de 0.0114 s. Dans le "tableau. 1" nous avons récapitulé les performances et les caractéristiques des actionneurs à flux reparté pour apprécier les capacités de cette réalisation.

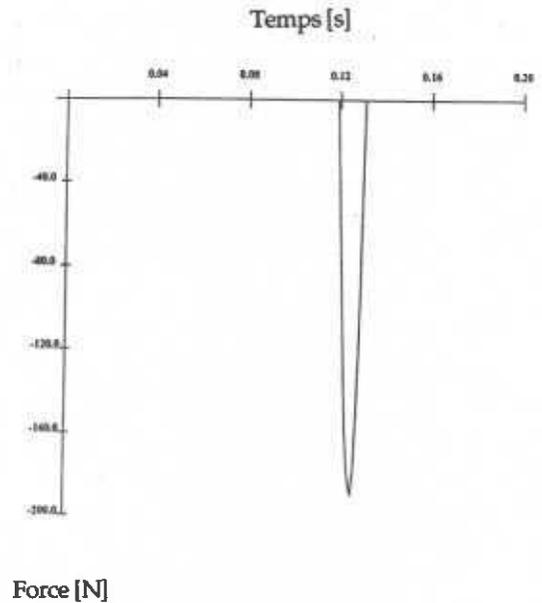


Fig. 4 : Réponse en force d'un actionneur à un geste du type percussion.

Caractéristiques	Grandeurs
Masse de la bobine	0.16 Kg
Constante de temps électrique	1.1 ms
Course de la bobine	15 mm
Force moyenne	20 N
Force transitoire ( $\Delta T = 54$ ms)	100 N
Accélération maximale à vide	625 m/s <sup>2</sup>
Temps de réponse en force touche bloquée	0.2 ms

Tableau 1 : récapitulatif des performances des actionneurs à flux reparté

En plus de ses bonnes performances dynamiques, le clavier rétroactif modulaire doit s'adapter aux

différentes morphologies du geste de manipulation en fonction de chaque tâche. Pour y parvenir et en plus de la configuration type piano, différents mécanismes d'habillage du clavier ont été développés. Ce sont des accessoires mécaniques qui se greffent sur les touches du clavier rétroactif modulaire réalisant ainsi des dispositifs de manipulation gestuels à deux ou à trois degrés de liberté, voire même plus, par l'association mécanique de touches indépendantes à un degré de liberté du clavier rétroactif modulaire "Fig.5".

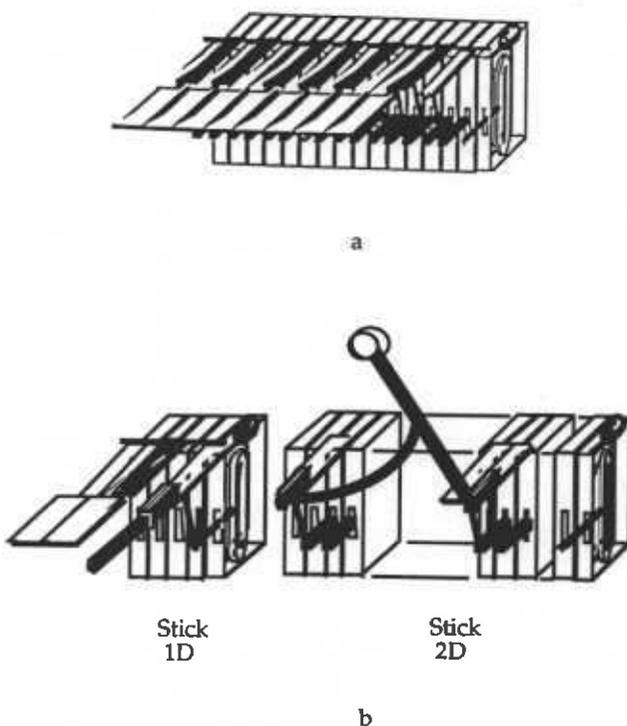


Fig. 5 : Mécanismes d'habillage du clavier rétroactif modulaire.

a : habillage type piano. b : sticks à un et 2 degrés de liberté.

## II. APPLICATIONS

Notre champ expérimental est vaste. Il touche à divers domaines d'applications dont les plus classiques sont la création artistique par ordinateur et la robotique et d'autres plus récentes telle que les réalités virtuelles.

1) *La création artistique* : Est la vocation principale de l'ACROE. Le clavier rétroactif modulaire a fait l'objet d'un vaste programme d'expérimentation dans ce domaine [8]. Il a permis le contrôle et la restitution de phénomènes sonores et visuels très fins

notamment, dans le cas de la modélisation et de la simulation de scènes complexes d'objets déformables et d'instruments de musique tels que le frottement d'archet etc.

2) *La robotique* : Le clavier rétroactif modulaire a été utilisé pour le contrôle de simulations de robots mobiles en environnement naturel et pour la planification de trajectoires [9].

3) *Les réalités virtuelles* : l'objectif dans ce domaine est de parvenir à des interactions les plus naturelles possibles entre un opérateur et l'univers synthétique par le biais d'interfaces visuelles, sonores et gestuelles. Pour y parvenir deux paradigmes s'opposent : le paradigme de l'immersion qui vise de plonger l'opérateur dans l'univers synthétique inhibant ainsi toute forme de perception de l'univers réel [10], et le paradigme du "vis à vis" qui garantit une interaction entre l'opérateur et le monde synthétique tout en laissant l'opérateur dans son univers naturel [11][12]. Le clavier rétroactif modulaire concrétise le second paradigme.

Des bandes vidéo montrant le fonctionnement du CRM et ses diverses utilisations sont disponibles sur demande au laboratoire.

## III. RÉFÉRENCES

- [1] CADOZ C., LUCIANI A., FIORENS J. L., CORDIS-ANIMA : a modelling and simulation system for sound and image synthesis - the general formalism, Computer music journal, 1993, 10(01), 19-29, M.I.T Press.
- [2] CADOZ C., *Le geste canal de communication Homme-Machine : La communication instrumentale*, Technique et science informatique, Vol 13, N° 1, 1994.
- [3] FIORENS J. L., *Coupleur gestuel rétroactif pour la commande et le contrôle de son de synthèses*, Thèse de 3ème cycle - INP Grenoble, 1978.
- [4] CADOZ C., LUCIANI A., FIORENS J. L., *Synthèse musicale par simulation des mécanismes instrumentaux transducteurs gestuels rétroactifs pour l'étude du jeu instrumental*, Revue d'acoustique N° 59 - 1981.
- [5] GIBET S., *Codage, représentation et traitement du geste instrumental. Application à la synthèse de sons musicaux par simulation de mécanisme instrumentaux*, Thèse 3ème cycle INP Grenoble, 1987.
- [6] Brevet européen n° 89/420385.0, brevet USA n°07/420242, brevet français 88/14064 13/10/88)
- [7] CADOZ C., Lisowski L., Florens J. L., *Modular retroactive keyboard*, Computer music journal 1990.
- [8] FIORENS J. L. *Modèles et simulations en temps réel de corde frottées*. 1er Congrès Français d'Acoustique - SFA - Édition de Physique - Lyon Avril 1990.
- [9] JIMENEZ S., LUCIANI A., LAUGIER C., *Simulating physical interactions between an articulated mobile vehicle and a terrain*, Robotics and autonomous system. 11, 97-107, 1993., Elsevier Ed.
- [10] BURDEA G., COIFFET P., *La réalité virtuelle*, Hermes, Paris 1993.
- [11] MINSKY M., MING O. Y., STEELE O., BROOKS F. P. Jr., BEHENSKY M., *Feeling and seeing : Issues in force Display*. ACM 1990.
- [12] CADOZ C., *Les réalités virtuelles*, Dominos Flammarion 1994.