



HAL
open science

Conception d'une chaise orientable pour l'immersion virtuelle

Cédric Anthierens, Jean-Claude Antonioli, C. Falaschini, F. Khattout, C. Lainé

► **To cite this version:**

Cédric Anthierens, Jean-Claude Antonioli, C. Falaschini, F. Khattout, C. Lainé. Conception d'une chaise orientable pour l'immersion virtuelle. CFM 2009 - 19ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2009, Marseille, France. hal-03391293

HAL Id: hal-03391293

<https://hal.science/hal-03391293>

Submitted on 21 Oct 2021

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.

Conception d'une chaise orientable pour l'immersion virtuelle

C. ANTHIERENS^a, J.C. ANTONIOLI^b, C. FALASCHINI^b, F. KHATTOUT^b, C. LAINE^b

a. Institut des Sciences du Mouvement, Etienne-Jules MAREY, UMR6233, Université de la Méditerranée, Faculté des Sciences du Sport, CP910, avenue de Luminy, 13288 MARSEILLE Cedex 9

b. Institut Supérieur de Mécanique de Paris, Supméca Toulon, Maison des Technologies, Place Georges Pompidou, 83000 TOULON

Résumé :

Cet article présente la conception d'une interface comportementale qui permet d'orienter un sujet en posture assise dans une scène virtuelle. Le système créé est un robot parallèle planaire de type 3RPR qui mobilise le sujet dans son plan sagittal. Les contraintes de conception sont guidées par des performances relatives à l'immersion vestibulaire. Cet article aborde la conception mécanique, le dimensionnement, l'instrumentation et le pilotage de l'interface.

Abstract :

This paper deals with design of a behavioural interface, which tilts a sitted subject within a virtual environment. This new system is built as a 3RPR-type planar parallel robot that can rotate a subject in his sagittal plane. Design requirements were given in order to satisfy a good vestibular immersion and to get the interface transparent. This paper tackles mechanical design, sizing, instrumentation and control of the whole interface.

Mots clefs : Interface sensorielle, retour inertiel, robot parallèle

1 Introduction

Les recherches menées sur l'action et la perception de l'humain requièrent de plus en plus fréquemment l'usage de technologie d'immersion. La réalité virtuelle (RV) apparaît comme un outil très adapté à ces besoins car elle offre la possibilité de maîtriser, tant que faire se peut, les stimuli auxquels sont exposés les sujets d'étude. Les sens les plus stimulés en RV, selon leur importance en termes de perception, sont la vue, l'ouïe et le toucher.

Afin d'analyser les comportements d'un sujet soumis à une situation particulière en grandeur réelle, on utilise une salle immersive de type Cave telle que celle disponible au Centre de la Réalité Virtuelle de la Méditerranée. Cette interface d'immersion visuelle dispose de trois écrans verticaux de 3 m de coté et 4 m de haut, ainsi que d'un écran horizontal positionné sur le sol (figure 1).



FIG. 1 – Différentes configurations du CAVE.

Chaque écran de projection est doté de deux projecteurs vidéographiques qui, associés au port de lunettes stéréoscopiques, confèrent au sujet une vision interactive en trois dimensions relief. Un dispositif de suivi de mouvement, composé de 8 caméras, renseigne à tout instant l'environnement virtuel sur les actions du sujet et permet ainsi d'assurer l'interactivité en temps réel. Les mouvements du sujet et des objets qu'il manipule peuvent être observés simultanément.

Des recherches sur la perception vestibulaire actuellement menées à l'ISM nous ont guidés à développer une interface sensorielle capable d'orienter à volonté un sujet en posture assise dans une scène virtuelle tel que cela est déjà fait lors de recherches spatiales (fig. 2). Le dispositif doit donc être compatible avec l'utilisation du CAVE et assurer 3 mobilités du sujet dans son plan sagittal en garantissant l'immersion vestibulaire.

2 Objectifs

Les campagnes expérimentales visées, qui ont motivé le développement d'une nouvelle interface comportementale inertielle, visent à évaluer l'influence de la perception vestibulaire pour des tâches de désignation spatiale d'objectifs. Ainsi le sujet en position assise horizontale sera immergé via le CAVE dans un environnement virtuel dynamique avec lequel il devra interagir. Le rôle de la chaise inclinable est d'orienter le sujet dans le plan sagittal de façon à ce que le plan transverse ne soit plus normal au champ de gravité terrestre (fig. 3).



FIG. 2 – Chaise d'orientation multi-axiale - Ashton Graybiel Spatial Orientation Lab à Boston [1]

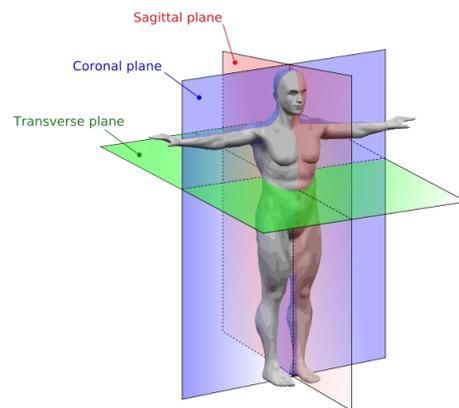


FIG. 3 – Définition des plans d'un sujet

Par ailleurs, le changement d'orientation doit être réalisé de telle façon que le sujet ne perçoive pas le mouvement, aussi bien durant les phases de début et fin de mouvement qu'en plein parcours. Pour compléter l'immersion, le changement d'orientation sera accompagné par un suivi visuel, c'est-à-dire que la scène virtuelle subira la même transformation d'orientation simultanément. Néanmoins, on sait que le réalisme d'une immersion visuelle dans un CAVE n'est pas forcément absolu, car il peut être perturbé lorsque les arêtes de jonction des écrans (mur/sol) sont perçues par le sujet.

La perception vestibulaire humaine est réalisée par le vestibule et les canaux semi-circulaires qui se chargent de quantifier respectivement les accélérations rectilignes et les accélérations circulaires. Ces organes sont placés au niveau de l'oreille interne et informent l'humain sur ces mouvements ou ces changements d'orientation par rapport au champ gravitationnel. Il existe des seuils de détection en dessous desquels l'humain est incapable de percevoir le mouvement. C'est le cas pour un mouvement faiblement dynamique où le sujet n'a pas la capacité de détecter une accélération de rotation inférieure à $0,2 \text{ } ^\circ \cdot \text{s}^{-2}$ [2].

3 Spécification de l'interface sensorielle

La conception de l'interface de chaise orientable prend en compte les contraintes liées aux stimuli inertiels à générer mais également celles relatives aux performances d'immersion visuelle et vestibulaire exigées. De nombreuses plateformes à retour inertiel sont d'ores et déjà employées de par le monde pour augmenter la qualité d'immersion lors de simulation de marche [3], de pilotage d'avion, de conduite de voiture [4] ou même de vélo [5][6]. Le plus souvent ces plateformes sont basées sur une structure parallèle de type Gough-Stewart [7][8] qui présentent l'avantage d'offrir 6 degrés de liberté, d'être très rigides et d'assumer de fortes charges dans le cas d'actionnement hydraulique [9]. Néanmoins certains inconvénients de ces structures subsistent aux niveaux de leur espace de travail limité et leur encombrement général qui conditionnent leur usage en salle immersive. Ainsi, cela nécessite parfois de développer une interface dédiée à une simulation visée tel que cela peut être le cas pour un simulateur de vol [10] ou de cyclisme [11].

C'est également le choix que nous avons fait pour concevoir une interface de chaise inclinable qui oriente et déplace un sujet assis dans le plan sagittal. L'étude du comportement du sujet fixe dans une scène virtuelle impose de conserver immobile la position du point de vue du sujet par rapport au CAVE. Cette exigence rejoint une autre liée aux déplacements spatiaux du sujet. En effet, pour solliciter le moins possible les récepteurs vestibulaires du sujet, il est préconisé de limiter les accélérations au niveau de la tête (oreille interne). Ainsi on peut envisager de réaliser des déplacements circulaires centrés sur l'axe transoculaire pour satisfaire ces 2 exigences.

De plus, pour permettre l'étude sur des sujets de morphologies diverses, on souhaite pouvoir librement paramétrer la position de cet axe de rotation. La possibilité de changement de centre de rotation au cours du mouvement nous a guidés vers la conception d'une structure parallèle planaire. Aux avantages multiples qu'offre cette structure, s'ajoute le fait qu'elle autorise une vision panoramique et éloigne les actionneurs du sujet, ce qui a pour intérêt de limiter les perturbations sonores lors des déplacements, contrairement à l'interface précédemment employée (fig. 4).

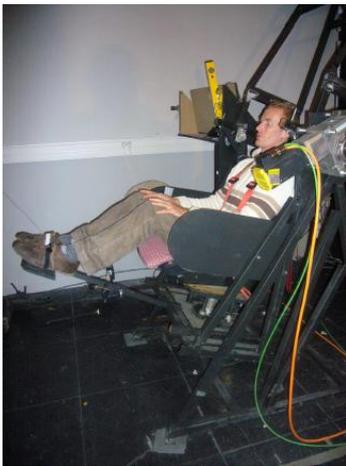


FIG. 4 – Chaise d'orientation uni-axiale

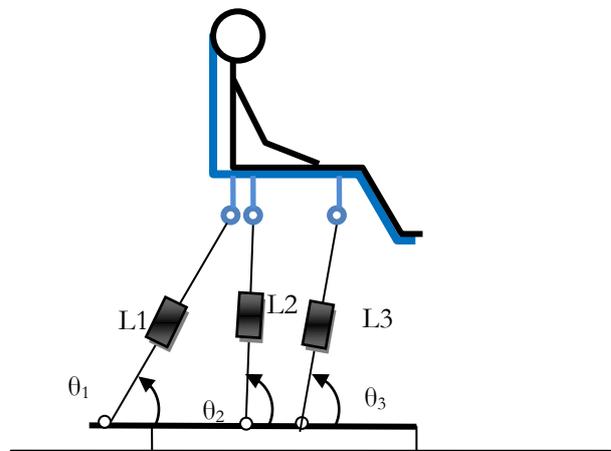


FIG. 5 – Structure 3RPR

Le modèle de type 3RPR (fig. 5) a finalement été retenu comme concept de structure de mouvement. Ce robot planaire possède 3 degrés de liberté (2 translations et 1 rotation) dans le plan sagittal comme souhaité. Un des enjeux majeurs de ce système est de pouvoir réaliser des mouvements à très faible accélération et générer des rotations de 45° par rapport à l'horizontale autour de l'axe transoculaire du sujet (tête). L'ampleur de ces déplacements pose rapidement des problèmes en termes d'espace de travail. Les premières passations qu'il est envisagé de réaliser avec cette interface visent à incliner le sujet vers l'avant à -45° par rapport à l'horizontale. C'est en priorité ce type de sollicitation qui va être considéré pour dimensionner et concevoir complètement la chaise.

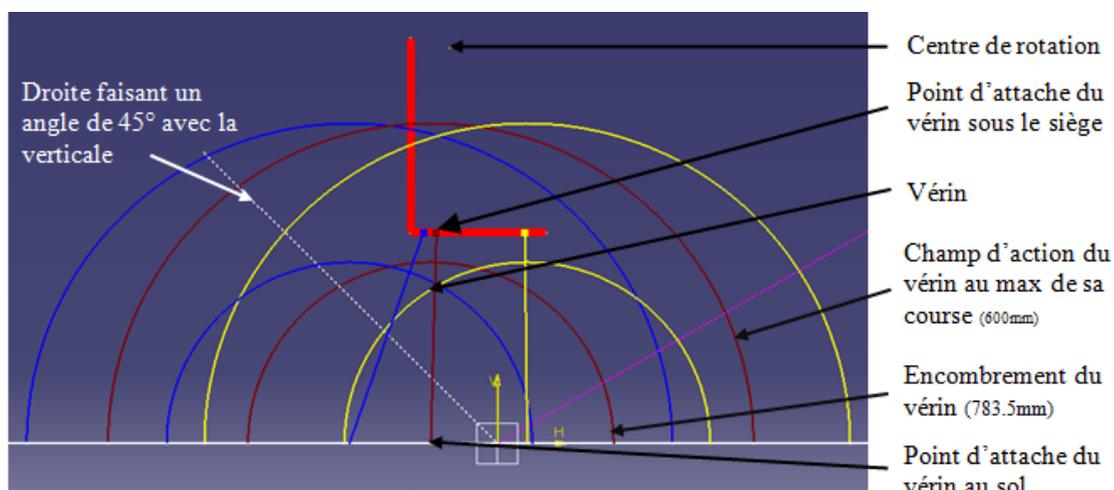


FIG. 6 – Etude de l'espace de travail et détermination des courses des actionneurs

4 Conception de l'interface sensorielle

4.1 Dimensionnement mécanique

Une modélisation géométrique rapide sous CATIA nous permet de déterminer les courses nécessaires des actionneurs afin de réaliser les déplacements souhaités pour toutes morphologies de sujet (stature allant de 1m45 à 1m90 ou une distance assise/œil n'excédant pas 85 cm)(fig. 6).

Les emplacements des actionneurs au niveau de la base et de la plateforme mobile ont été déterminés simultanément de façon à limiter les courses des actionneurs et éviter toute approche d'une configuration singulière évidente. En effet, lorsque l'actionneur avant vient dans l'axe de l'assise, le système se retrouve alors dans une configuration singulière rendant ainsi inefficace son action pour contrôler la chaise. Dans ce cas, les actionneurs subissent des efforts maximaux et la chaise devient hors de contrôle.

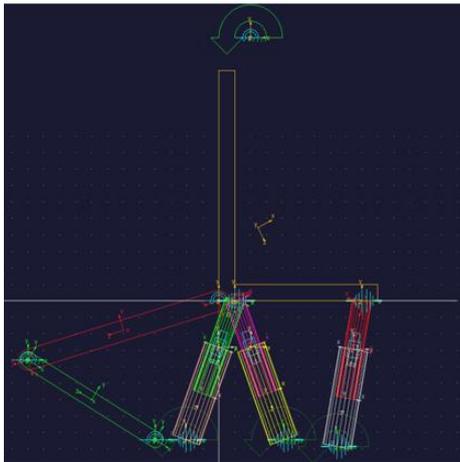


FIG. 6 – Modèle dynamique de la chaise sous ADAMS



FIG. 7 – Modèle numérique de l'interface sous CATIA



FIG. 8 – Interface sensorielle conçue

Les calculs de dimensionnement cinématique ont été menés sous ADAMS. Même si ce logiciel permet, bien entendu, une modélisation dynamique des systèmes polyarticulés, celle-ci n'est pas forcément utile dans notre cas de figure, car on souhaite générer des mouvements avec de très faibles accélérations. Le dimensionnement des actionneurs nous impose des courses de 600 mm afin de pouvoir envisager un essai avec les sujets les plus grands. L'usage de l'énergie électrique semble tout indiqué pour des raisons de disponibilité, compatibilité, compacité et performances des actionneurs, ainsi que limitation de bruit d'emploi. Par ailleurs, la dynamique faible qui nous est demandée nous oriente vers des actionneurs lents fortement démultipliés pour tirer un meilleur profit en matière d'effort disponible.

Les vérins électriques sont naturellement adaptés à ce genre d'exigence et leur transmission par vis trapézoïdale leur confère, au-delà d'un certain rapport de réduction, un comportement irréversible qui soulage les actionneurs lors des phases statiques. Les vérins choisis sont mus par des moteurs à courant continu 24 Volts qui développent une puissance maximale de 180 Watts et génèrent un effort maximal de 3000 Newtons.

4.2 Instrumentation

Les actionneurs sont équipés de codeurs incrémentaux qui fournissent un signal de déplacement de tige avec une résolution de 0,12 mm. La position de référence est donnée par les capteurs de fin de course intégrés à chaque vérin. Afin de faciliter le pilotage de l'interface dans l'espace opérationnel, les vérins sont équipés à leur base de potentiomètres résistifs qui informent sur l'angle de chaque axe par rapport à l'horizontale.

Les actionneurs sont pilotés par des cartes d'amplification en modulation de largeur d'impulsion et sont asservis en position par un correcteur PI via un calculateur temps réel. La fréquence d'échantillonnage est fixée à 1000 Hz (fréquence supérieure au seuil de détection vestibulaire) pour garantir un mouvement fluide.

5 Pilotage de l'interface

5.1 Génération de trajectoires

Selon le cahier des charges de notre système, le sujet assis et sanglé dans le siège de l'interface ne doit pas ressentir les mouvements qu'il subit par le biais des accélérations motrices. Nous devons rendre cette interface transparente, c'est-à-dire minimiser les accélérations perçues par le sujet. Ceci sous-entend qu'il faut, soit générer des accélérations en dessous du seuil de perception de l'humain ($0,2 \text{ } \%/s^2$ selon [2]), soit avoir recours à une génération de trajectoire qui peut limiter les influences d'une accélération en termes de ressenti humain. Les capteurs vestibulaires se comportent comme des accéléromètres munis d'une masse sismique (otolites) qui déforment un corps d'épreuve (cils vestibulaires) et convertit la grandeur physique perçue (accélération) en information (stimuli neuronaux). Par conséquent, il est possible de limiter la déformation des cils sensoriels du sujet dès lors qu'on applique une trajectoire de degré élevé (polynôme d'ordre 5) respectant les conditions initiales et finales en termes d'accélération, vitesse et position. La consigne de trajectoire spatiale et sa loi horaire sont donc éditées dans l'espace opérationnel du robot. Ainsi une fois traduites dans l'espace articulaire, les actionneurs appliquent cette consigne de trajectoire. Contrairement au pilotage non programmé, le fait d'imposer une trajectoire désirée requiert uniquement une transformation géométrique pour exprimer les déplacements articulaires.

L'asservissement de position assure une erreur de poursuite inférieure au millimètre et une erreur statique inférieure à 0,12 mm (résolution des codeurs). Cette résolution engendre une erreur d'orientation moyenne de l'ordre de $0,02^\circ$ ce qui apparaît satisfaisant pour notre application. Si le besoin d'une précision accrue se faisait ressentir au niveau de la perception du sujet, alors l'usage des capteurs d'angle à la base des vérins pourrait être envisagé.

5.2 Recherche de position initiale

La réalisation d'une inclinaison vers l'avant de -45° autour de l'axe transoculaire du sujet impose de trouver une position initiale qui autorise le mouvement désiré en respectant l'espace de travail du robot et les conditions de chargement de chaque actionneurs. En effet, une des premières phases à réaliser consiste à inclure la trajectoire d'orientation dans l'espace de travail. Pour cela, nous avons mis au point un algorithme qui fournit une position initiale satisfaisante tout en tendant à minimiser les efforts dans les actionneurs.

Selon la stature du sujet, on observe que la position initiale sera très nettement projetée vers l'avant pour éviter d'approcher en fin de déplacement la position singulière précédemment citée. Cependant, en large porte-à-faux, la structure subit d'importants efforts qui ne sont pas forcément compatibles avec les caractéristiques des vérins. C'est pourquoi, notre algorithme recherche la position initiale qui, selon les enveloppes de travail de chaque vérin (fig. 6), conserve le siège dans ses positions les plus hautes. Cette contrainte impose alors aux vérins d'être les plus verticaux possibles, ce qui limite d'autant les effets néfastes de porte-à-faux.

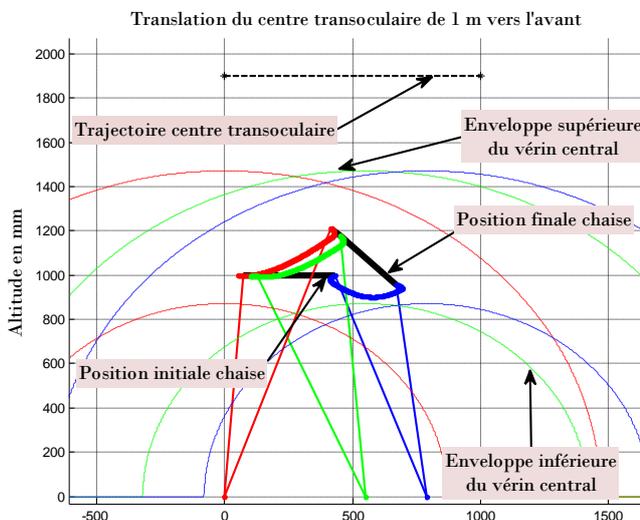


FIG. 9 – Trajectoire combinée

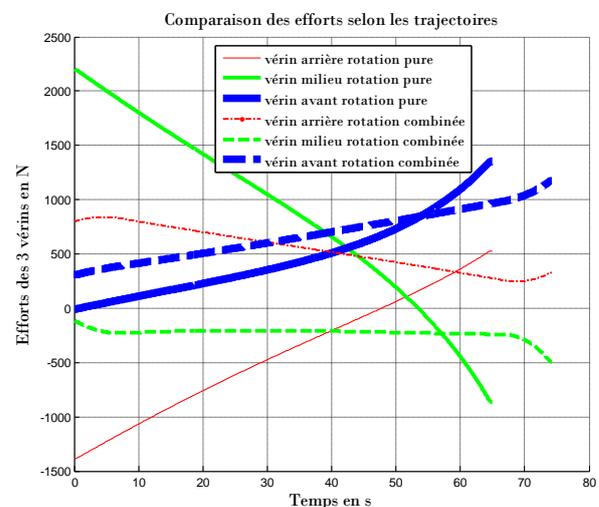


FIG. 10 – Efforts minimisés

Pour continuer à réduire les efforts dans les vérins selon notre algorithme, on peut être amené à modifier notre contrainte de centre de rotation pour lui autoriser un mouvement quelconque. La rotation se fera toujours autour de l'axe transoculaire mais celui-ci sera libre de se déplacer. Cette solution satisfait toujours l'immersion vestibulaire en ce qui concerne la rotation mais exige désormais de travailler sur la loi horaire du mouvement de translation pour le rendre le moins perceptible possible.

L'apport de ce type de mouvement est visible sur les figures 9 et 10 où l'on voit la trajectoire combinée et les efforts des vérins qui sont, dans ce cas, largement réduits par rapport au mouvement de rotation pure (tout de même admissibles par les actionneurs).

6 Conclusion et perspectives

Ce papier a présenté la conception d'une chaise inclinable dédiée à l'immersion virtuelle en CAVE. Les exigences dynamiques et cinématiques nécessaires pour rendre l'interface transparente pour le sujet ont justifié la conception d'un système spécifique. Ainsi il nous est possible via cette chaise de bouger un sujet dans son plan sagittal suivant 2 translations et 1 rotation. La structure de type robot parallèle planaire 3RPR a fait l'objet de multiples modélisations pour parvenir à un dimensionnement correct de l'ensemble du système.

Le pilotage de l'interface a fait apparaître l'intérêt du choix de la position initiale du mouvement à réaliser dans le but de minimiser les efforts fournis par les vérins électriques. Enfin, l'étude sur la génération de trajectoire a montré comment il est possible de réduire les efforts mis en jeu (et par conséquent d'augmenter les vitesses des actionneurs) tout en conservant le principe de non perception du mouvement induit pour le sujet embarqué.

L'interface est actuellement en pré-test dans un CAVE au Centre de Réalité Virtuelle de la Méditerranée. Les utilisations futures envisagées de ce système visent à étudier le comportement humain lors de déplacements de translations très lisses (loi horaire d'ordre 5) et lors de pilotage de l'interface contrôlé via une manette par le sujet lui-même. Ces modes de fonctionnement feront donc appel à la matrice Jacobienne de la structure pour offrir un pilotage non programmé et éviter, comme toujours, les configurations singulières.

References

- [1] Site web d'Ashton Graybiel Spatial Orientation Lab à Boston, disponible le 20 février 2009. <http://www.graybiel.brandeis.edu/facilities/facilities.html#parabolic> site web.
- [2] Bringoux, L., Schneider, S., Nougier, V., Dumas, G., Barraud, P.A., Raphael, C. Perception of a slow pitch and roll body tilts in bilateral labyrinthine-defective subject. *Neuropsychologia*, 40, pp.367-372, 2002
- [3] Boian, R.F., Bouzit, M., Burdea, G.C., Lewis, J., Deutsch, J.E. Dual Stewart platform mobility simulator. *Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, June 28-July 1, 2005, IL, USA, pp.550-555.
- [4] Dagdelen, M. Restitution des stimuli inertiels en simulation de conduite. Thèse de doctorat. 7 juillet 2005, Ecole des Mines de Paris. 157 p.
- [5] Schulzyk, O., Bongartz, J., Bildhauer, T., Hartmann, U., Goebel, B., Hergers, R., Reinert, D. A bicycle simulator based on a motion platform in a virtual reality environment – FIVIS project. *Springer Proceedings in Physics*, Vol.14, *Advances in Medical Engineering*, 2007, pp.323-328.
- [6] Song Yin, Yuehong Yin. Study on virtual force sensing and force display device for the interactive bicycle simulator. *Sensors and actuators*, A140 (2007), pp.65-74.
- [7] Fichter, E.F., Kerr, D.R., Rees-Jones, J. The Gough-Stewart platform parallel manipulator: a retrospective appreciation. *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 223, 2009, 243-281.
- [8] Site web de Symétrie à Nîmes, France, disponible le 20 février 2009. http://www.symetrie.fr/fr/hexapode/hexapodes_mouvement/
- [9] Davliakos I., Papadopoulos, E. Model-based control of a 6-dof electrohydraulic Stewart-Gough platform. *Mechanism and machine theory* 43 (2008) 1385-1400.
- [10] Sun Ho Kim, Hyun Pyo Shin, Woo Sung In, Jongwon Kim. Design of a 6 dof flight simulator based on a full spinning parallel mechanism platform. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibits*, 15-18 August 2005, San Francisco, California, paper 6105.
- [11] Ching-Kong Chen, Fong-Jie Chen, Jung-Tang Huang, Chi-Jung Huang. Study of interactive bike simulator in application of virtual reality. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol.28, No.6, 2007, pp.633-640.