



HAL
open science

Intérêt du retour d'effort dans la manipulation d'objets virtuels

Ali Bouzouita, Claude Uhl, Annie Luciani, Claude Cadoz

► **To cite this version:**

Ali Bouzouita, Claude Uhl, Annie Luciani, Claude Cadoz. Intérêt du retour d'effort dans la manipulation d'objets virtuels. GT Animation et Simulation du GDR Algorithme, Modélisation et Infographie, 1996, Strasbourg, France. pp.[12]. hal-00910464

HAL Id: hal-00910464

<https://hal.science/hal-00910464>

Submitted on 20 Mar 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.

INTÉRÊT DU RETOUR D'EFFORT DANS LA MANIPULATION D'OBJETS VIRTUELS

Ali Bouzouita, Claude Uhl, Annie Luciani, Claude Cadoz

ACROE - CLIPS/IMAG

46 av. Félix Viallet - 38031 Grenoble Cedex France

Tel : (33) 76 57 46 48, Fax : (33) 76 57 46 02 -

E-mail : Ali.Bouzouita@imag.fr, Claude.Uhl@imag.fr

Résumé

L'ordinateur a considérablement modifié la façon dont les tâches sont exécutées par l'homme. En particulier, les réalités virtuelles permettent d'envisager une forme intégrale de la représentation, au travers des techniques de la simulation, et des interfaces gestuelles à retour d'effort associées aux interfaces visuelles et acoustiques. Dans le cadre technologique et conceptuel proposé par le Transducteur Gestuel à Retour d'effort (TGR) de l'ACROE et de son modèleur-simulateur d'objets physiques CORDIS-ANIMA, nous tentons de poser les bases d'une étude de l'anamorphose entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche. Cette étude devrait permettre de déterminer, dans le cas où les contraintes des interfaces gestuelles sont imposées, les propriétés du composant virtuel qui optimisent l'interaction et, dans le cas général, de concevoir la chaîne instrumentale (réelle-virtuelle) réalisant la meilleure adéquation entre les performances humaines et les contraintes imposées par la tâche.

Dans cet article, nous proposons une approche adaptée au problème spécifique des transformations entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche. Nous analyserons l'adaptation de l'outil de manipulation, dans le cas d'interactions multisensorielles avec un environnement virtuel (saisie et transport d'objets 3D, représentation 3D associée de manière réaliste au déplacement de l'opérateur dans l'espace...), dans le cadre de l'Interface de Communication Instrumentale développée à l'ACROE, et évoquerons à ce propos les propriétés et l'importance du canal gestuel dans la relation de l'homme avec son environnement.

Introduction

Les Réalités Virtuelles se fondent sur l'idée que l'ordinateur permet de générer des mondes virtuels dans lesquels l'homme peut exécuter des tâches de manière naturelle par l'intermédiaire des outils informatiques. Il faut pour cela qu'il soit équipé de transducteurs adaptés pour transformer les données numériques en données perceptibles et vice versa. Une visualisation réaliste d'un objet virtuel associée à une action gestuelle réelle via des capteurs permet déjà d'effectuer de manière naturelle des tâches simples comme le positionnement dans l'espace ou la désignation. L'étape suivante est alors d'associer une composante virtuelle à l'instrument réel, et cette entité constitue l'outil manipulé par l'opérateur. Cet instrument, composé d'une partie informatisée et d'une partie matérielle (écran de visualisation et capteurs gestuels) doit satisfaire deux propriétés indispensables à une bonne exécution de tâches avec un ordinateur : la visualisation de l'instrument de même que l'association entre action et vision doivent être suffisamment réalistes.

Cependant, vision et manipulation passive ne sont pas des composantes suffisantes pour un grand nombre de tâches demandant une certaine dextérité corporelle (conduite d'un véhicule, opération chirurgicale, arts : jeu musical, sculpture, animation). Pour ces tâches, il est fondamental de percevoir l'objet gestuellement (son poids, sa résistance au déplacement) et de l'entendre, par exemple lorsqu'il percute un autre élément de son environnement. L'intervention de ces deux autres modalités que sont la perception proprio-tactilo-kinesthésique (nous l'appellerons par la suite pour simplifier "perception gestuelle") et la perception auditive, doit satisfaire les deux principes précédents : (i) la restitution du comportement proprio-tactilo-kinesthésique et auditif de l'objet virtuel doivent être assez réalistes, (ii) l'association entre l'action gestuelle sur l'objet virtuel et les trois perceptions, gestuelle, auditive et visuelle, de cet objet virtuel, doivent également être corrélées de manière réaliste. L'introduction de ces deux autres modalités conduit à rajouter du retour d'effort aux transducteurs gestuels et de s'orienter vers une modélisation physique de l'objet virtuel qui permet de restituer simultanément son comportement dynamique visuel, acoustique et physique à destination des trois types de perception. En conséquence, l'adjonction du retour d'effort et de la multisensorialité permettra une bonne exécution de tâches instrumentales complexes. L'usage de ces nouveaux outils -modèles physiques d'instruments virtuels et transducteurs gestuels à retour d'effort- autorisent à penser que l'on peut espérer atteindre avec l'ordinateur la dextérité nécessaire à la plupart des tâches humaines.

Cette étude devrait permettre de déterminer, dans le cas où les contraintes des interfaces gestuelles sont imposées, les propriétés du composant virtuel qui optimisent l'interaction et, dans le cas général, de concevoir la chaîne instrumentale (réelle-virtuelle) réalisant la meilleure adéquation entre les performances humaines et les contraintes imposées par la tâche.

I. Le contexte théorique : la notion de communication instrumentale

On pose que l'ensemble des modes de communication et d'interaction avec l'ordinateur peut se partager en deux classes : la communication symbolique et l'interaction instrumentale ou physique. La communication instrumentale suppose une interaction physique avec échange d'énergie, mais son rôle est surtout

communicationnel. Pour toute application, il est en effet possible de déterminer un ensemble de modes communicationnels dont la mise en œuvre la plus efficace sera précisément celle qui correspond au mode instrumental. La communication *instrumentale* dont l'exemple le plus riche est celui de la communication instrumentale musicale, est extrêmement performante sur le plan de l'échange informationnel.

Elle est transposée dans le contexte de l'ordinateur en développant des simulations d'objets physiques jouant le rôle d'icônes généralisées avec lesquels l'opérateur interagit en temps réel de manière multi-sensorielle : gestuelle, acoustique, visuelle et tactilo-kinesthésique. La communication gestuelle et tactilo-kinesthésique est effectuée à l'aide de transducteurs gestuels à retour d'effort .

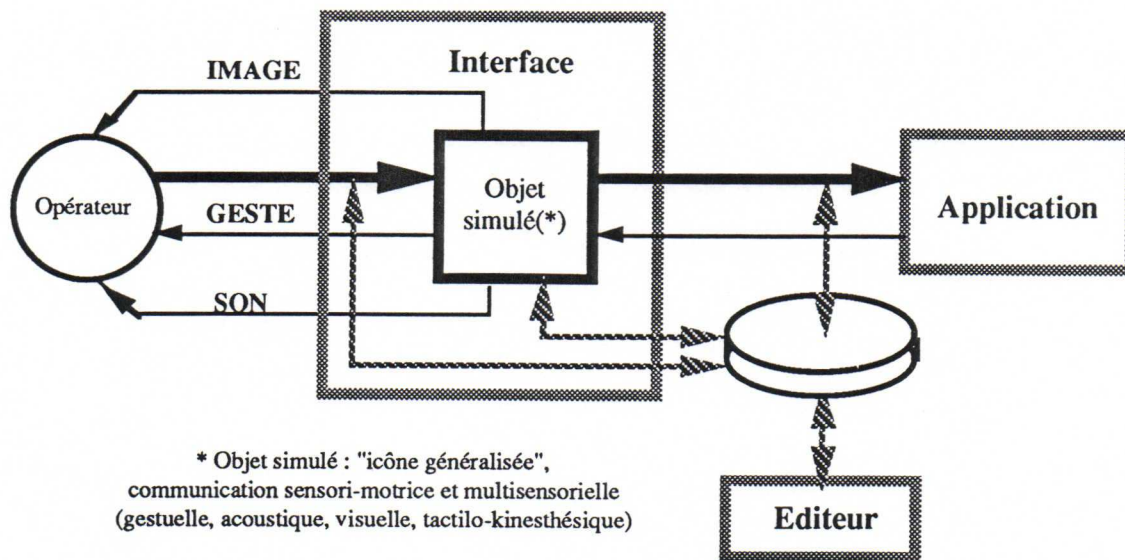


Figure 1. Interface de Communication Instrumentale

La mise en œuvre de l'interaction instrumentale dans un environnement virtuel nous a conduit à introduire le concept d'Interface de Communication Instrumentale (ICI), figure 1. Sa fonction première est de permettre à l'opérateur de définir les propriétés et les caractéristiques de l'objet ou de l'ensemble des objets qui vont intervenir lors de l'interaction. Une deuxième fonction est l'exécution du processus de communication entre l'opérateur et les différents objets qu'il manipule, qui consiste d'une part en l'extraction de l'information de l'opérateur au moment de l'interaction de celui-ci avec l'instrument de commande, et en son émission vers la tâche, et d'autre part en l'exécution de l'opération symétrique. Troisièmement, l'ICI doit permettre le traitement et l'édition des informations résultant de l'exécution du processus d'interaction.

II. Le contexte expérimental

Il s'agit de mener un ensemble d'expérimentations qui, à partir d'une sélection de tâches tests, ont pour but, d'une part de proposer différents instruments pour exécuter cette tâche, et d'autre part d'évaluer l'efficacité de l'exécution. Il est alors nécessaire de disposer, en laboratoire, d'un outil de simulation et de transducteurs gestuels à retour d'effort suffisamment performants pour servir d'instruments d'évaluation et de configuration de tâches. Leurs performances devront recouvrir largement celles nécessitées par la tâche. Le prototype de

l'Interface de Communication Instrumentale que nous utiliserons ici, a été développée par l'équipe, en partie dans un but d'évaluation et de configuration.

Il comprend (figure 2.) :

- un modéleur-simulateur d'objets physiques CORDIS-ANIMA
- un transducteur gestuel à retour d'effort
- une architecture matérielle cible, spécifique à la simulation d'objets virtuels en temps réel,

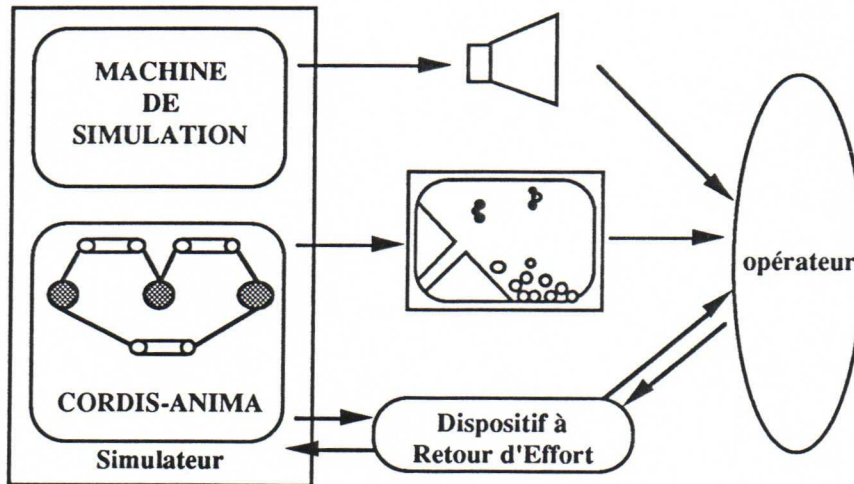


Figure 2. Plate-forme d'expérimentations

Grâce à ces trois composants indissociables que nous allons caractériser ci-dessous, cet outil a permis de simuler des objets virtuels audibles, visibles et également manipulables, avec des performances suffisamment réalistes pour servir de plate-forme d'expérimentation.

CORDIS-ANIMA

Le modéleur CORDIS-ANIMA a été testé sur une grande variété d'objets. Ont été modélisés des objets rigides ou déformables 3D [2], des objets déformables à topologie variable (pâtes, fluides, ...), des objets sonores (cordes, plaques, ...) et des actions diverses (percussions, fractures, frottements, entraînements ...) etc...

Il s'agit d'un langage de modélisation et de simulation d'objets physiques développé par l'ACROE, qui permet de décrire les objets du monde physique, mais également de les construire dans l'espace virtuel de simulation[2]. Un objet CORDIS-ANIMA résulte de l'assemblage d'éléments de base de deux catégories qui sont les éléments matériels et les éléments de liaisons. Ces éléments de bases sont assemblés pour constituer un réseau selon des règles qui correspondent à la production et aux échanges de variables physiques. Les variables physiques mises en jeu sont de deux types : force et déplacement.

Le Transducteur Gestuel à Retour d'Effort

Un des principaux aspects de la communication instrumentale est la bi-directionnalité du canal gestuel, moyen d'action sur le monde physique et moyen de communication informationnelle. De nombreuses recherches dans le domaine de la communication homme-machine ont tenu compte de l'importance de ce canal et diverses interfaces d'interaction gestuelle à retour d'effort ont été développées, sous forme de bras

manipulateurs[6], sticks[4][5] ou gants[7]. Ces instruments sont généralement dédiés à une tâche bien particulière mais sont trop spécifiques pour l'étude d'une grande variété d'instruments virtuels. L'ACROE a donc développé le Clavier Rétroactif Modulaire[3] -CRM- dont l'originalité réside dans son grand nombre de degrés de liberté et dans ses performances dynamiques et énergétiques qu'il peut développer dans un encombrement réduit [3]. Le nombre de modules (16 disponibles actuellement en laboratoire, extensible jusqu'à 64) peut être augmenté ou diminué suivant l'application désirée. Sur ce clavier peut être installée une mécanique de transformation spécifique utilisant le nombre nécessaire de degrés de liberté de façon à l'adapter à la tâche à réaliser. Cet habillage mécanique peut ainsi donner au clavier l'aspect d'un piano musical, ou l'aspect d'un joystick à 2DDL, 3 DDL, ou bien encore, l'aspect d'une pince de télémanipulation, ...

L'architecture matérielle cible

Compte tenu du haut degré d'interconnexion entre modules dans la plupart des objets physiques CORDIS-ANIMA, les algorithmes de simulation du modèleur simulateur nécessitent des performances et une architecture particulière[8][9] pour la machine qui va les exécuter. C'est celle-ci qui permet de voir, d'entendre, d'agiter et de percevoir gestuellement les objets virtuels simulés en temps réel à une fréquence de simulation de l'ordre de 1 kHz. Les contraintes liées à ce type de simulations sont dues à l'interaction multisensorielle temps réel entre l'opérateur et l'objet simulé, et surtout à la bi-directionnalité du canal gestuel. Le calcul de l'objet par l'ordinateur suivi du transfert des données en entrée et en sortie est nécessairement de durée constante, effectué de manière synchrone, à des fréquences de l'ordre de 1 kHz, voire 44 kHz si on associe à l'objet, un retour acoustique. Les processeurs sont connectés aux transducteurs de sortie (écran, clavier gestuel à retour d'effort et haut-parleur) par des cartes spécifiques pour chacun de ces trois canaux (figure 2). La synchronisation temps réel entre les différents éléments de l'implantation, qui fonctionnent en parallèle, est réalisée par une horloge unique externe qui rythme les transferts en entrée, en sortie et entre processeurs de calcul.

III. Instrument virtuel et anamorphose entre l'espace de la tâche et l'espace opérateur

Grâce aux systèmes à retour d'effort et à la simulation numérique des objets physiques, il est possible d'effectuer une grande variété de tâches en plaçant l'opérateur face à un instrument virtuel. L'instrument est alors la combinaison de capteurs et effecteurs réels et de composants virtuels résultant d'une simulation. Il est en général difficile d'établir une exacte correspondance entre les propriétés géométrico-dynamiques du dispositif qui sert à la manipulation et celles de l'espace virtuel où la tâche s'opère. C'est cette situation que l'on nomme "anamorphose". L'anamorphose est parfois un obstacle, elle est souvent une nécessité (dans le cas par exemple où l'espace de la tâche est complètement abstrait), mais elle peut être aussi un facteur positif d'adaptation des performances de l'opérateur. C'est l'ensemble de ces questions qui est abordé dans le développement de ce thème dans le but de déterminer les propriétés du composant virtuel de l'Instrument d'Interaction qui optimisent l'interaction.

3.1. Espace opérateur / Espace de la tâche

La situation considérée ici est essentiellement multisensorielle: c'est la situation dans laquelle un opérateur effectue une tâche ou interagit avec un monde réel ou une base de données (au sens général) par le recours à plusieurs modalités : graphique, visuelle, parole, écriture, etc. Parmi ces modalités, on considère la modalité spécifique que nous appelons la communication instrumentale qui est une combinaison des trois boucles sensorielles imbriquées :

- la boucle action gestuelle -perception visuelle,
- la boucle action gestuelle - perception acoustique
- la boucle action gestuelle - perception gestuelle (proprio-tactilo-kinesthésique)

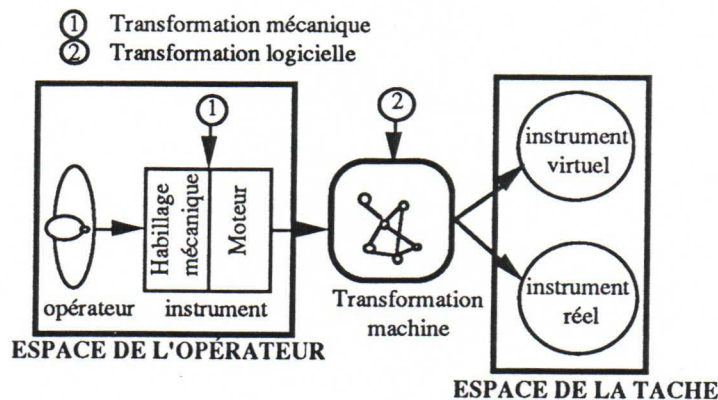


Figure 3. : Chaîne de liaison opérateur-tâche

On distingue l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche (figure 3.); chacun est défini par des propriétés physico-géométriques spécifiques. Par exemple, en téléopération, l'espace de la tâche peut être défini par un bras manipulateur à 6 degrés de liberté, doté d'une pince pour la saisie, le transport, le positionnement d'objets. Une situation de téléopération sans anamorphose serait celle où l'opérateur, en poste à sa station de travail, tout en recevant une image vidéo tridimensionnelle de l'espace de la tâche, manipulerait un bras identique au précédent, doté de capteurs selon 6 degrés de liberté et une mesure de l'écartement de ses doigts correspondant terme à terme aux éléments du bras manipulateur.

En partant de situations types et en s'appuyant, d'une part sur les transducteurs gestuels rétroactifs de l'ACROE, d'autre part sur son outil de modélisation et simulation des instruments physiques CORDIS-ANIMA, il s'agit de caractériser les catégories d'anamorphoses principales et d'évaluer les possibilités et les limites d'opérations dans chacun des cas. A titre d'exemple, on déterminera dans quelle mesure, sous conditions de multisensorialité (recours à l'image, au son et à la perception tactilo-kinesthésique) une manipulation de déplacement, saisie, transport, positionnement peut être effectuée par une action sur un ensemble de touches parallèles s'enfonçant verticalement, ou, inversement, dans quelle mesure, toujours sous conditions de multisensorialité, la manipulation d'une poignée à multiple degrés de liberté peut permettre de contrôler plusieurs opérations de manipulations simples, mais indépendantes (plusieurs opérations de déplacement et de saisie par exemple).

Enfin, le problème de l'anamorphose évoqué ici sur des cas simples et connus, peut être généralisé en considérant des espaces de tâche ou même des tâches de toute autre nature, voire abstraites par exemple.

3.2. Catégories d'anamorphoses

Lors de la réalisation d'interfaces permettant la communication multisensorielle entre l'opérateur et les objets du monde virtuel, se pose le problème de l'anamorphose entre l'espace réel (l'opérateur) et l'espace virtuel (la tâche) dans les trois grandes catégories d'interactions : gestuelles, visuelles et auditives.

La première anamorphose est l'anamorphose physique, relative au canal gestuel qui fournit le seul apport énergétique au moment de l'interaction. L'opérateur va injecter une certaine quantité d'énergie qui pourra être amplifiée ou diminuée à travers les transducteurs gestuels, et le système de traitement du geste. D'autre part, étant donnée la course bien déterminée des outils de manipulation, le déplacement effectué dans l'espace de l'opérateur pourra être amplifié, réduit mais aussi transformé (par exemple, la transformation d'une translation en rotation, ...) dans l'espace de la tâche.

La deuxième anamorphose est l'anamorphose visuelle. Celle-ci est relative à la visualisation de l'objet suivant les paramètres nécessaires à l'opérateur et à la tâche qu'il effectue. C'est le problème qui se pose dans le cas de la visualisation et de la manipulation d'un objet tridimensionnel dans un espace bidimensionnel.

Enfin, l'"anamorphose acoustique" se réfère à la production du retour sonore. Il s'agit d'étudier quel est le son pertinent de la scène à fournir à l'opérateur par sa hauteur, sa puissance, ... , ou de déterminer le son le plus significatif si plusieurs sons sont générés. Dans le cas du retour acoustique, nous utiliserons le terme anamorphose par abus pour parler des attributs sonores et des métaphores.

La combinaison des différents retours sensoriels s'avère nécessaire lorsque les tâches sont très complexes.

La première étape de notre travail a consisté à caractériser notre espace d'expérimentation. Pour cela nous avons envisagé un ensemble de tâches que l'opérateur aura à réaliser par l'intermédiaire des interfaces instrumentales et nous avons défini les canaux sensoriels qui seront exploités (figure 4).

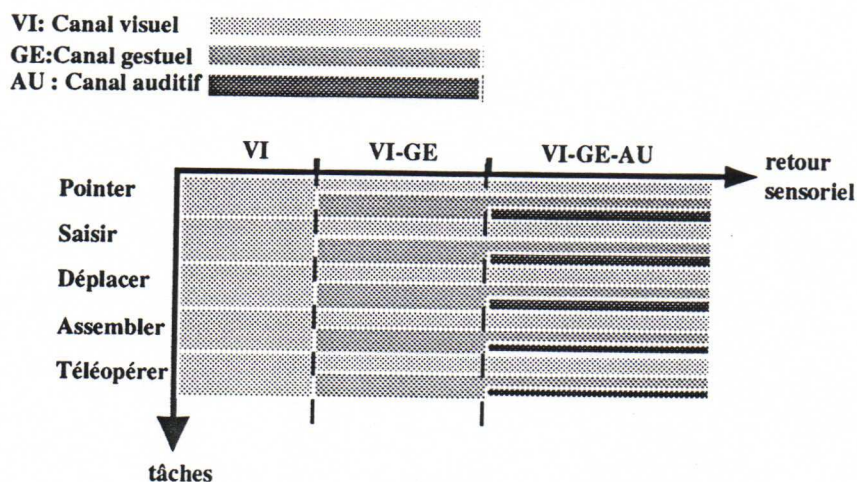


Figure 4. : Espace d'expérimentation

Les tâches de base définies sont les suivantes : pointage, saisie, déplacement, assemblage et téléopération.

Nous avons considéré pour chacune trois cas de retour sensoriel :

- retour uniquement visuel,
- retour visuel et gestuel,
- retour simultanément visuel, acoustique et gestuel.

Une évolution progressive entre ces cas typiques peut être envisagée.

Dans un deuxième temps, nous avons cherché quel concept permettrait de traiter le problème de la transmission des actions de l'opérateur vers l'espace de la tâche en tenant compte des caractéristiques géométriques et dynamiques des deux espaces. Le problème introduit ici est la différence de point de vue géométrique et dynamique que l'instrumentiste (l'opérateur) rencontre en utilisant un instrument qui n'a pas les mêmes caractéristiques que l'instrument commandé ou simulé dans l'environnement de la tâche.

IV. Expérimentations

4.1. Tâche de sélection : menu à retour d'effort

La réalisation de cette expérimentation est le résultat d'une observation. En présence de plusieurs fenêtres, il arrive souvent à l'utilisateur de sélectionner une fenêtre à la place d'une autre. Ou encore, dans le cas d'un mauvais retour visuel, dû soit à la machine, soit à l'opérateur si celui-ci a des problèmes de vue, dans ce cas il est impossible d'utiliser un outil de positionnement se basant sur la perception visuelle. Le principe consiste donc à donner aux objets du menu habituel des propriétés qui en permettent la manipulation dans le mode instrumental ce qui est rendu possible par les modèles physique et l'interface à retour d'effort.

La première chose que nous avons faite était de caractériser la tâche : dans la manipulation de menus, l'opérateur a besoin d'un pointeur de position et d'un interrupteur (le bouton de la souris). Donc il a besoin plus exactement de trois degrés de liberté. Pour ce type de manipulation nous avons utilisé trois touches du clavier avec le dispositif suivant: un joystick à trois degrés de libertés, constitué d'une structure mécanique qui vient se greffer sur le clavier décrit précédemment. Deux degrés de liberté seront utilisés pour déplacer le pointeur, comme dans l'utilisation d'une souris traditionnelle. Le troisième degré de liberté jouera le rôle d'interrupteur (bouton de la souris).

Nous avons introduit divers éléments dans le menu développé : un menu déroulant, et la sélection de fenêtres. Décrivons tout d'abord le menu déroulant. Sur l'écran figure une première fenêtre possédant des propriétés physiques. Nous avons plus précisément attaché une masse ponctuelle au centre de la fenêtre, et nous avons introduit une relation physique, décrite par une loi d'interaction, entre le curseur commandé par le joystick et cette masse. Lorsque le joystick est poussé vers l'avant, il agit comme le bouton d'une souris traditionnelle. Dans notre exemple, apparaît alors une extension du menu, sous la forme de plusieurs autre fenêtres possédant les mêmes propriétés physiques. Par action sur le joystick, nous pouvons percevoir gestuellement le centre de chacune de ces fenêtres et les sélectionner si nécessaire.

Le deuxième aspect de cette expérience est l'utilisation du même dispositif pour aller chercher une fenêtre mobile, possédant également une masse en son centre et une relation physique du même type avec le pointeur. Nous pouvons alors saisir la fenêtre en son milieu, le geste étant dans ce cas guidé par la loi

d'attraction. Lorsque le curseur est positionné, l'opérateur peut saisir la fenêtre en poussant le joystick vers l'avant comme précédemment, la déplacer et la déposer en retirant le joystick vers l'arrière.

Dans les deux cas nous avons utilisé le langage CA pour donner les propriétés physiques aux objets. Nous avons aussi mis en oeuvre un module correcteur, nécessaire aux transformations géométriques entre le geste de l'opérateur et ce qu'il aperçoit à l'écran[1]. Sur cet exemple simple nous avons pu constater que la dextérité de l'opérateur était grandement améliorée. On peut par ailleurs imaginer l'intérêt de cette nouvelle possibilité, pour les non-voyants.

4.2 Saisir, déplacer, assembler

Il s'agit de scènes dans lesquelles l'opérateur effectue des tâches de saisie, transport et insertion d'objets divers dans des empreintes de forme variable. Tous les objets ainsi que les outils de saisie et de transport sont modélisés par modèle physique. Les objets à insérer sont en interaction physique avec les obstacles de la scène, le cadre, et avec l'instrument de manipulation. L'opérateur manipule les objets virtuels à l'aide d'outils réels (transducteurs gestuels à retour d'effort), il en a une image visuelle à l'écran et ressent l'effort produit par réaction gestuelle.

Les situations suivantes se caractérisent par le fait que :

- * les outils de manipulation se différencient plus ou moins des morphologies courantes de saisie et déplacement
- * les objets ne sont pas tous visibles
- * les objets ne sont pas tous tactiles
- * aucun objet n'est sonore

Première situation

La première scène est confinée dans une enceinte rectangulaire dans laquelle sont contraints tous les objets, y compris les outils de manipulation. Ceux-ci sont deux instruments de saisie indépendants, manipulés chacun par un stick à 2 degrés de liberté (figure 5.). Leur orientation est fixe et aucune rotation n'est possible. Par coordination entre les deux mains, ces deux parties peuvent venir capturer les billes.

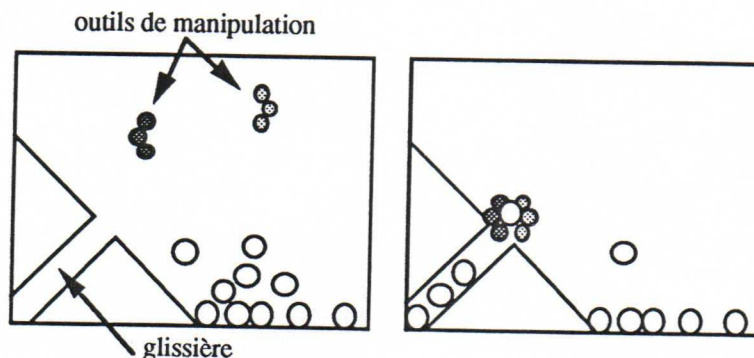


Figure 5. : Saisie, transport et insertion d'objets rigides simples

On insère les objets dans une enceinte formée par cinq obstacles fixes, avec des ouvertures de taille variable. La scène peut être compliquée par ajout d'obstacles invisibles à l'intérieur de l'enceinte. La nécessité du retour d'effort est alors évidente : la trajectoire des billes est gênée par ces obstacles invisibles, qui peuvent être fixes ou non. Dans notre exemple, la pince est uniquement en interaction avec l'enceinte et les trois objets à insérer. Aussi, l'opérateur ressentira la percussion entre les obstacles et l'objet saisi, ce qui lui permet de les éviter ou de les contourner.

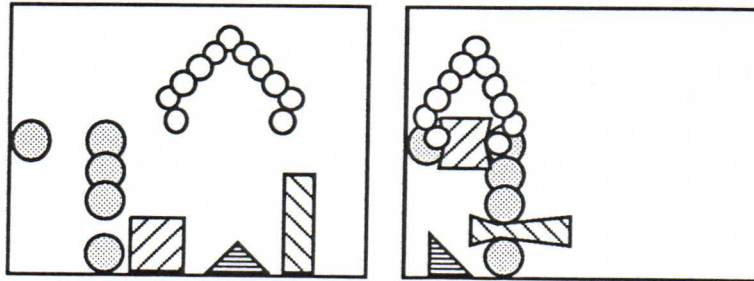


Figure :6. : Saisie, transport et insertion d'objets déformables à l'aide d'une pince

Ces expériences ont été réalisées en absence puis en présence de retour d'effort. Dans le premier cas, le contrôle est uniquement visuel, et la réussite de la tâche nécessite plusieurs essais, c'est à dire une connaissance parfaite de la scène avec localisation des obstacles invisibles. Dans le deuxième cas, la réussite de la tâche est quasi-immédiate et l'opérateur montre une dextérité bien plus grande.

La pertinence de ces deux exemples nous permet d'envisager leur extension à des cas concrets, comme la téléopération en milieu hostile, ou la simulation d'interventions chirurgicales de précision.

V. Conclusion

Le système que nous avons réalisé procure à l'opérateur une connaissance complète multisensorielle des propriétés des objets simulés qu'ils manipule. De plus, ces expériences peuvent se généraliser à des situations beaucoup plus complexes dans lesquelles l'opérateur utilise tous les canaux sensoriels pour réaliser une tâche. Nous envisageons également d'étendre l'étude aux cas où la tâche n'est pas concrète, comme la manipulation de courbes mathématiques, le contrôle de propriété perceptuelle de phénomènes sonores ...

Les prochaines étapes de nos travaux conduiront à la réalisation d'interfaces mécaniques pour le clavier, dédiés à des applications pour la robotique, la télémanipulation en milieu hostile et la commande d'instruments musicaux virtuels.

Références

- [1] A. BOUZOUITA, C. CADOZ, "Interaction Instrumentale Multisensorielle. Éléments pour l'étude des transformations entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche", IHM95 (Toulouse), Octobre 95
- [2] C. CADOZ, A. LUCIANI and J.L. FLORENS "Responsive Input Devices and Sound Synthesis by Simulation of Instrumental Mechanisms: The Cordis System", Computer Music Journal, 8, n°3, pp. 60-73, M.I.T. Press, Cambridge Mass. 1984.

L'objectif de la manipulation est de transporter les billes dans la glissière, à gauche de la scène. Comme il n'y a pas de frottement sec entre les outils et les billes, l'opérateur doit procéder avec dextérité afin d'éviter un serrage trop fort ou une percussion trop vive sur les obstacles.

La coordination entre deux mors nécessaire à la tâche de saisie est ici prise en charge par l'opérateur. En effet l'articulation des deux coupelles pour les transformer en pinces est l'articulation entre les deux bras de l'opérateur. On note qu'il pourrait s'agir de l'articulation entre le pouce et l'index, mais cela contraint l'axe pouce-index de l'opérateur à rester horizontal ce qui est peu naturel et fatigant. On remarque également que la difficulté de positionner face à face la main gauche et la main droite est considérablement améliorée par la présence de retour d'effort : lorsque l'on se rapproche suffisamment de l'objet pour qu'au moins un de ses points soit en contact avec une des demi-pince (la main), alors la main est guidée par l'objet pour que celui-ci vienne s'y loger comme dans une coupelle. On s'aperçoit de plus que la forme "coupelle" de la demi-pince améliore considérablement le guidage et par suite, la saisie (comme un gant de pelote basque).

L'insertion s'avère plus problématique compte tenu de l'anisotropie du dispositif (pas de rotation des demi-pinces). Il faut effectuer un lâcher "guidé", en posant la bille contre le mur, et en la laissant glisser le long de celui-ci. En revanche, en l'absence de retour de force, il est très difficile de saisir les billes, et encore plus difficile de les garder. Cette tâche semblait a priori complexe mais suite à un apprentissage assez sommaire de moins de 10 essais, l'insertion se fait sans hésiter et à vitesse normale. Cette expérience prouve la résistance de l'opérateur humain à des anamorphoses instrumentales et sa capacité à contourner les situations nouvelles lorsqu'il y a la perception gestuelle.

Extension de la première scène

Cette deuxième situation est, au premier abord, identique à la précédente pour l'opérateur. Elle s'en différencie par l'ajout d'obstacles fixes et invisibles. Seules les billes, et non les outils de manipulation, sont en interaction avec ces obstacles. Le retour visuel n'est, dans ce cas, d'aucune aide pour l'opérateur. De plus, il ne peut ressentir les obstacles directement mais uniquement par l'intermédiaire de la bille qu'il saisit. Au départ, l'opérateur connaît la tâche à exécuter, et visualise partiellement la scène. C'est en essayant de l'exécuter, c'est à dire, de déposer les billes dans la glissière, qu'il va s'apercevoir de la gêne provoquée par les obstacles invisibles. Au contact des obstacles, les billes sont éjectées plus ou moins violemment, selon la vitesse de collision.

En l'absence de retour d'effort, l'apprentissage de la tâche se fait en plusieurs étapes par localisation progressive des obstacles, tandis qu'avec le retour d'effort, le parcours entre le lieu de dépôt et la glissière se fait par contournement des obstacles. L'intérêt du retour d'effort est ici très pertinent, et permet une réussite quasi-immédiate de la tâche.

Deuxième scène

Dans cette deuxième scène (figure 6.), l'opérateur manipule une pince à deux mors, en contrôlant le déplacement du point d'articulation. Les objets manipulés sont de forme quelconque et déformables. La modélisation physique permet de générer un troisième degré de liberté de rotation, qui ne peut être contrôlé que dynamiquement. L'opérateur ouvre et ferme alors la pince à l'aide d'un axe du système à retour d'effort.

- [3] L. LISOWSKY, C. CADOZ "Conception, Optimization and realisation of extra flat DC linear motors", 4th IEEE int. Conf. on Electrical Machines and Drives, Septembre 1989.
- [4] M. MINSKY, M. OUH-YOUNG, O. STEELE, F.P. BROOKS AND M. BEHENSKY "Feeling and seeing: Issues in force display", SIGGRAPH 1990 special issue.
- [5] H. IWATA " Artificial reality with Force-Feedback: Development of Desktop Virtual space with Compact Master Manipulator," Computer graphics, Août 1990.
- [6] F.P. BROOKS, M. OUH-YOUNG, J.J. BATTER AND P.J. KILPATRICK "Project Grope: haptic display for scientific visualisation", Computer graphics, Août 1990.
- [7] G. Burdea, J. ZHUANG, E. ROSKOS, D. SILVER AND N. LANGRANA "A Portable Dextrous Master with Force Feedback", Presence - Teleoperators and Virtual Environments, Vol 1. No 1., pp 18-27, March 1992.
- [8] C. UHL, A. LUCIANI, C. CADOZ "Le simulateur temps réel TELLURIS pour le langage CORDIS - ANIMA. Modèles Physiques, Gestes, Sons, Images", Groupe de travail Animation et Simulation : les Simulateurs (Lille), Oct. 1994
- [9] C. UHL, A. LUCIANI, J-L. FLORENS "Hardware Architecture of a Real-Time Simulator for the Cordis-Anima system : Physical Models, Images, Gestures, Sounds", Computer Graphics International (Leeds, Angleterre), Juin 1995