

## **MANUS - ROBOT ADAPTE SUR FAUTEUIL** **PREMIERES EXPERIENCES ET COLLABORATION INTERNATIONALE**

*H.H. KWEE et J.J. DUIMEL, HV, Hoensbroek,  
J.J. Smits et A.A. Tuinhof de Moed Produktcentrum-TNO, Delft,  
J.A. van Woerden, LW. val. Kolk et J.O. Rosier TPD-TNO, Delft, Pays-Bas.  
J.-C. Cunin, AFM, 91000 Evry, France*

### **Résumé**

Le Projet MANUS réunit trois instituts de recherche aux Pays-Bas avec l'objectif de réaliser un robot manipulateur embarqué sur fauteuil électrique et doté d'une structure de commande assistée par ordinateur, individuellement adaptable à l'utilisateur. Ce système est destiné à des personnes fonctionnellement tétraplégiques, suite à des lésions médullaires, des myopathies, certaines formes d'i.m.c., etc. Ce projet a été lancé en 1985 sur l'instigation de l'Association Néerlandaise contre les Myopathies et se poursuit depuis TELETHON 88 avec le concours de l'Association Française contre la Myopathie.

Le système MANUS comprend un bras articulé à six degrés de liberté équipé d'une pince motorisée à deux doigts. En plus, un mouvement télescopique vertical de la base lui permet d'attraper des objets par terre. Déplié, le bras a une étendue de 80 cm et il peut soulever des objets d'un poids jusqu'à 1,5 kg. Le bras peut se plier sur lui-même pour être ramassé à côté du fauteuil. Plié, il peut être détaché du fauteuil.

La commande des mouvements s'effectue par l'intermédiaire d'interfaces et de procédures modulaires, individuellement adaptables à l'opérateur. Pour l'opération dans un environnement humain non-structuré on privilégie la commande interactive, dans laquelle l'utilisateur commande directement les mouvements de la pince en s'appuyant sur ses propres capacités de perception et de planification des mouvements. Cette approche s'appuie sur l'expérience obtenue en France par le Projet SPARTACUS. Des possibilités de programmation y seront ajoutées pour accélérer certaines tâches.

Pour l'adaptation individuelle de la commande, la configuration pourra être modifiée à l'aide d'un ordinateur extérieur (branché temporairement). Ainsi, une action concertée avec le concours de plusieurs centres compétents permettra la constitution d'une bibliothèque de configurations de commande, croissant avec l'expérience des différents utilisateurs.

### **Abgtract**

An outline is given of recent developments within the Dutch MANUS Project towards a reasonably priced wheelchairmounted manipulator with an individually adaptable, computer-assisted control structure. A second working modes was realized and preliminary trials with persons with muscular dystrophy are reported.

## **Introduction.**

Le Projet MANUS a été lancé aux Pays-Bas en 1985 à la suite d'une demande de l'Association Néerlandaise contre les Myopathies "VSN" pour la mise au point d'un télémanipulateur adapté aux besoins de leurs adhérents. Après une étude de faisabilité, trois instituts de recherche, mentionnés ci-dessus, se sont réunis avec l'objectif de réaliser un robot manipulateur embarqué sur fauteuil électrique et doté d'une structure de commande modulaire assistée par ordinateur [6,7,8,9,10]. Ce système est destiné à des personnes fonctionnellement tétraplégiques, suite à des lésions médullaires, des myopathies, certaines formes d'i.m.c., etc. L'approche des stratégies de l'interaction homme-machine s'appuie en bonne partie sur l'expérience obtenue en France par le Projet SPARTACUS, et surtout par l'expérimentation clinique faite à l'Hôpital Raymond Poincaré à GARCHES [2,3,4].

Le système MANUS comprend un bras articulé à six degrés de liberté, avec en plus un mouvement télescopique vertical de la base, lui permettant d'attraper des objets par terre. Le bras est équipé d'une pince motorisée à deux doigts qui s'ajustent automatiquement en épousant la forme de l'objet. Déplié, le bras a une étendue de 80 cm et il peut soulever des objets d'un poids jusqu'à 1,5 kg. Le bras est conçu de telle façon qu'il puisse se plier sur lui-même pour être ramassé à côté du fauteuil. Plié, le bras peut être détaché du fauteuil pour les transferts de l'utilisateur ou pour le transport. Une boîte contenant, entre autre, le microprocesseur et les interfaces vers l'utilisateur et vers le fauteuil roulant reste attachée au fauteuil, ce qui permettra ultérieurement d'y incorporer une commande du fauteuil assistée par ordinateur. L'ensemble détachable a un poids de 15 kg.

## **Deuxième modèle opérationnel.**

Depuis notre communication à Handitec 87 [6], un deuxième modèle d'essai a été réalisé, en tenant compte des résultats de l'évaluation technique et de l'expérience acquise avec le premier modèle opérationnel. Beaucoup de modifications ont été introduites entre ces deux modèles, surtout sur le plan mécanique. Il s'agissait d'une part d'améliorations qui se sont avérées nécessaires pour atteindre les performances souhaitées (réduction des frottements, renforcement de certains mécanismes de transmission, addition de limiteurs de couple sur toutes les transmissions, accélération des mouvements du poignet pour assurer une bonne stabilisation de l'orientation de la pince dans l'espace, amélioration de l'esthétique, ...) et d'autre part des simplifications en vue de faciliter la production et d'en réduire le coût (réduction du nombre de pièces, techniques avancées en aluminium moulée pour la structure, ...). Ces améliorations sur le plan mécanique ont par la suite rendu nécessaire la révision des asservissements et des compensations du comportement dynamique du système.

En plus de ces travaux techniques de base, on a progressé sur le plan de la structure de la commande par l'utilisateur. Le nouveau système a fonctionné pour la première fois sur un fauteuil roulant en été 1988 (figures 1 et 2) avec une commande assez rudimentaire par un manche à balai au niveau des mouvements des articulations. Par la suite des corrections ont été ajoutées pour stabiliser l'orientation de la pince vis-à-vis du

plan horizontal, puis la commande a été élaborée pour permettre de commander les mouvements de la pince dans un repère cylindrique (rotation de la colonne verticale autour de son axe, étendre le bras, monter et descendre la pince).

## **Premières expériences.**

Ces derniers développements ont été rendu possibles avec le concours de l'Association Française contre la Myopathie, et ils ont permis d'effectuer une première expérimentation par un jeune homme ayant une myopathie, instigateur de ce projet, et d'en faire la démonstration dans le cadre de l'action Téléthon 88 [ 11 ].

Dans ce cas, le manipulateur était commandé par des petits mouvements des doigts de la main gauche à l'aide d'une boule de commande ("tracé bail"), intégrée dans une tablette sur le fauteuil, et un interrupteur contrôlé par la main droite. Puisque la commande du fauteuil roulant n'est pas encore intégrée avec celle du manipulateur, elle s'effectuait également par la main droite sur le moyen du manche à balai du fauteuil. Etant donné le peu de temps disponible pour l'apprentissage, nous avons installé une procédure de commande relativement simple à apprendre, mais plus lente dans l'exécution des tâches. Cette procédure fait appel à six modes de commande, chacun donnant accès à un seul, ou exceptionnellement à deux degrés de liberté à la fois. Pour changer d'un mode à l'autre il fallait en faire la sélection par un balayage de modes moyennant l'interrupteur et des retours visuels, deux sur le bras du manipulateur et un incorporé dans la tablette afin d'assurer qu'au moins un des trois soit visible dans toutes les conditions.

La commande des mouvements de la pince dans un repère cylindrique était retenue aussi bien pour des raisons techniques que du fait que l'expérimentateur utilise déjà à domicile un robot COBRA RS2 sur son fauteuil, commandé dans un repère similaire. Ainsi, l'adaptation et l'apprentissage de l'utilisation du système ont pu se réaliser durant les derniers jours qui restaient avant la démonstration télévisée. La tâche effectuée mettait bien en évidence l'intérêt d'un système embarqué sur le fauteuil roulant [11]: se rendre à la cuisine, chercher un verre dans un égouttoir, retourner le verre pour le mettre debout, le poser sur le comptoir, chercher une paille pour la mettre dans le verre, reprendre le verre, ouvrir le robinet à manche en poussant avec le verre, remplir le verre, refermer le robinet, et approcher le verre pour boire à l'aide de la paille. Par la suite, cette personne a pu expérimenter ce système à domicile, avec l'assistance technique de son père, pendant quatre semaines et essayer des tâches comme ouvrir une porte, manger, boire (sans paille), brancher une prise électrique, .... Les problèmes rencontrés ont été rapportés et nous guident pour la suite des développements.

A l'occasion d'une manifestation de la VSN su mois de Juin 1989 une autre expérience a été conduite avec le bras manipulateur suspendu à un socle attaché au sol, permettant une personne assise dans son propre fauteuil de se placer à côté du système, en simulant le montage sur le fauteuil, et de l'essayer en poste fixe (figures 3 et 4). A cette occasion une commande sur moyen de la boule a été installée pour diriger les mouvements de la pince dans un repère cartésien ( avant-arrière, gauche-droite, haut-bas), facilitant l'apprentissage et la manipulation des objets (même pour le premier utilisateur rapporté ci-dessus). Ainsi, plusieurs jeunes ont pu l'expérimenter, tous étant capable de se verser un verre d'eau au cours d'une période d'une demi-heure maximum. Deux entre eux ont même réussi à boire "normalement" sans l'aide d'une paille (fig. 4).

## **Les suites à donner.**

Malgré ces résultats préliminaires, beaucoup de travail reste à faire avant que ce système puisse être confié sans supervision à un utilisateur non-averti dans une situation ordinaire. Ainsi, durant ces expériences seulement une protection partielle des transformateurs de coordonnées autour des singularités mathématiques (ou beaucoup de solutions sont possibles, nécessitant l'introduction de critères supplémentaires) et lors des dépassements des limites des rotations a pu être assurée. Certaines zones étaient interdites d'accès, sous peine de perdre le contrôle de l'orientation de la pince dans l'espace. Dans ces conditions expérimentales, on disposait d'un contrôle à distance permettant l'arrêt d'urgence de MANUS

et/ou du fauteuil. La surveillance sera assurée ultérieurement par des procédures automatiques pour la compensation des effets des singularités, la protection des zones interdites, et la vérification du bon fonctionnement du système.

Puisque ce système est destiné à être porté sur fauteuil roulant, il doit fonctionner surtout dans un environnement humain non-structuré et non connu du système. Pour cette raison, nous nous concentrons d'abord sur la commande interactive, dans laquelle l'utilisateur commande directement les mouvements de la pince, en s'appuyant sur ses propres capacités de perception et de planification des mouvements. Des possibilités de programmation y seront ajoutées par la suite pour atteindre rapidement certains points dans l'espace et pour répéter des mouvements mis en mémoire au préalable par l'utilisateur.

Pour adapter individuellement le système à chaque utilisateur et pour le faire évoluer suivant ses besoins, il est prévu que la configuration de commande pourra être modifiée à l'aide d'un ordinateur extérieur, branché temporairement pour donner accès aux paramètres définissant le système de commande. Ainsi, on pourra constituer une bibliothèque de configurations de commande, croissant avec l'expérience des différents utilisateurs. Le concours de plusieurs centres compétents en une action concertée pourrait faire accélérer la constitution d'une telle bibliothèque, et plusieurs organismes ont déjà manifesté leur intérêt.

En même temps, des contacts avec des sociétés susceptibles d'assurer la commercialisation de MANUS sont en cours et la société retenue devra jouer un rôle important dans ce processus, notamment en assurant la production d'une série limitée d'essai, indispensable pour l'expérimentation et l'évaluation du système.

### **Jean-Claude CUNIN: Le parcours de l'AFM en France.**

Les responsables de l'A.F.M., lors d'un voyage d'étude aux Pays-Bas, ont étudié l'expérience de l'Association Néerlandaise V.S.N. avec le micro robot COBRA. Les éléments rapportés de ce voyage laissaient penser qu'un moyen d'assistance robotisée pour compenser la perte d'autonomie des membres supérieurs était effectivement envisageable.

Lors de son congrès à BORDEAUX, l'A.F.M. présentait une première expérimentation du COBRA. Malheureusement, il s'agissait d'une nouvelle génération de robot, le COBRA RS3 qui s'avérait très difficile à embarquer sur fauteuil roulant contrairement au RS2.

Une validation technique des principes d'utilisation du robot comme assistance à la vie quotidienne a été faite au centre A.F.M. de la forêt à Angers. A partir de cette expérimentation nous avons défini le cahier des charges de nos attentes en matière de télémanipulation [ 1 ].

Nous nous sommes retrouvés sur ces bases avec les concepteurs de MANUS et nous avons engagé avec eux la poursuite des travaux de recherche pour la mise à disposition des usagers d'un télémanipulateur embarqué sur fauteuil roulant.

### **Remerciements**

Le Projet MANUS a été possible grâce au soutien des sources suivantes: TNO Beleidsruimte Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid Innovatie Ontwikkelingsprogramma "Hulpmiddelen Gehandicaptten" Prinses Beatrixfonds Stichting Fondsenwervingsacties Gezondheidszorg Association Française contre la Myopathie

## **Références**

1. Cunin J.C.: "Projet Robotique." Rapport AFM, Octobre 1988.
2. Kwee H.H., S. Pétrequin, F. Galmiche, S. Pannier. "Manipulation assistée par téléthèse: l'expérimentation clinique de la téléthèse MAT-1." Vidéofilm (18 min.), Handitec 85, Paris, 1985.
3. Kwee H.H.: "La téléthèse MAT-1 et l'apprentissage systématique de télémanipulation." J. de Réadaptation Médicale, 6/5(1986)149-156.
4. Kwee H.H.: "SPARTACUS and MANUS: telethesis developments in France and in the Netherlands." In: R. Foulds (ed.): "Interactive robotic aids - one option for independent living: an international perspective." Monograph 37, World Rehab. Fund, New York, 1986, pp. 7-17.
5. Kwee H.H., B. Lesigne, Ch. Labat: "Etat de l'art des systèmes robotisés." Proceedings Handitec 87, Paris, Déc. 1987, pp. 246-252.
6. Kwee H.H., J.J. Duimel, J.A. van Woerden, J.J. Smits: "Le Projet MANUS: conception d'un prototype de téléthèse porté sur fauteuil électrique." Proceedings Handitec 87, Paris, Déc. 1987, pp. 253-255.
7. Kwee H.H., J.J. Duimel, J.J. Smits, A.A. Tuinhof de Moed, J.A. van Woerden, LW. val. Kolk: "The MANUS wheelchair-mounted manipulator. developments towards a product model." Proceedings ICAART 88, 11th Ann. Conf. on Rehabilitation Technology, Montreal, (1988)460-461.
8. Kwee H.H., J.J. Duimel, J.J. Smits, A.A. Tuinhof de Moed, J.A. van Woerden, LW. val. Kolk: "Thé MANUS wheelchair-mounted manipulator." Proc. First Intern. Workshop on Robotic Applications in Medical and Health Care, Ottawa, (1988)4.1-4.5.
9. Kwee H.H., J.J. Duimel, J.J. Smits, A.A. Tuinhof de Moed, J.A. van Woerden, LW. val. Kolk and J.C. Rosier. The MANUS wheelchair borne manipulator: system review and first results." Proc. Second Workshop on Medical and Healthcare Robotics, Newcastle Upon Tyne, UX, Sept. 1989, pp. 385-396.
10. design and implementation." Proc. Second Workshop on Medical and Healthcare Robotics, Newcastle Upon Tyne, U.K., Sept. 1989, pp. 397-403.
11. Kwee H.H.: "MANUS Project: een eerste experiment (Rosier J.C., J.A. van Woerden, LW. van der Kolk, J.J. Duimel, H.H. Kwee, G. Honderd, P.M. Bruyn: "The MANUS wheelchairmounted manipulator. system une première expérience)." Vidéo (8 min) IRV-Hoensbroek, Pays-Bas, Janvier 1989.

## **Renseignements:**

H. H. KWEE  
Institut de Recherche en Réadaptation et Rééducation IRV  
Zandbergsweg 111  
6432 CC Hoensbroek  
Pays-Bas  
téléphone: 19-31.45.22 43 00  
télécopie: 19-31.45.22 63 70

Fig. 1. MANUS plié sur lui-même attaché au fauteuil roulant Fortress au congrès ICAART à Montréal, Juin 1988.



Fig. 2. Ramasser un objet par terre.





Fig. 3. Expérience avec le bras suspendu à un socle attaché au sol, permettant à une personne assise dans son propre fauteuil d'essayer le système. Ainsi, plusieurs jeunes ont pu l'expérimenter, tous étant capables de se verser un verre d'eau comme illustré ci-dessus.

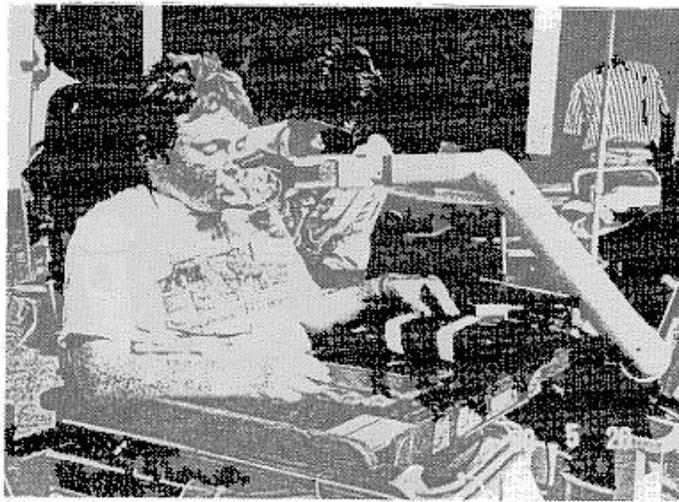


Fig. 4. Un jeune réussit à boire "normalement" sans l'aide d'une paille après un apprentissage d'une demi-heure environ.