

Implémentation de comportements humains pour faciliter le guidage d'un robot mobile téléopéré

Yves Rybarczyk

Laboratoire des Systèmes Complexes (CEMIF)
IUP, 40 rue du Pelvoux, CE1455 Courcouronnes, 91020 Evry Cedex
yrybarc@iup.univ-evry.fr

Résumé. La majorité des problèmes rencontrés par un opérateur humain placé en condition de téléopération sont d'ordre visuel. Ceux-ci sont principalement dus à la limitation de la taille du champ visuel ainsi qu'à des délais temporels trop élevés dans la transmission des images vidéo. Pour compenser ces phénomènes, nous avons décidé d'élaborer un nouveau modèle de coopération Homme-machine s'inspirant des stratégies comportementales humaines. Ce papier décrit un premier comportement dit de bas niveau, qui permet d'anticiper visuellement sur le déplacement d'un mobile téléopéré, en orientant sa caméra vers l'intérieur de la future trajectoire à négocier.

Mots clés. Coopération Homme-machine, téléopération, champ visuel, comportements humains, anticipation.

I-Introduction.

Cet article s'inscrit dans un projet mené en collaboration avec l'AFM (association française contre la myopathie) et qui s'intitule ARPH (assistance robotisée pour personnes handicapés). ARPH est un système composé d'une station de contrôle et d'un bras manipulateur (Manus) monté sur un base mobile (fig.1). Le robot étant également équipé de caméra, l'opérateur peut déplacer le porteur et manipuler des objets en vision indirecte, comme dans n'importe quelle tâche de téléopération. Pour cela, le projet présente deux conditions majeures : le faible coût des composants utilisés et surtout la préservation des capacités dont dispose encore la personne handicapée. A cet effet, le système possède différents modes de commande plus ou moins automatisés. La personne pouvant basculer d'un mode à l'autre en fonction de sa fatigue, de son degré d'handicap, de la difficulté de la tâche...

Le but de notre étude est de concevoir une nouvelle approche de la coopération Homme-machine, basée sur l'implémentation de comportements humains dans le principe même de fonctionnement du robot. Préalablement, afin de limiter l'éventail colossal de ces comportements, il est nécessaire d'identifier les besoins spécifiques rencontrés par l'opérateur humain en tâches de téléopération. Dans une telle situation, nombre de travaux (Terré, 90 ; Mestre and Péruch, 95) ont démontré que la principale modalité sensorielle mise à contribution est d'ordre visuelle. Il est donc important de définir précisément les problèmes de perception visuelle de l'environnement d'un opérateur placé en condition de téléopération.



Fig.1. Représentation du porteur équipé du bras Manus, lors d'une tâche de saisi au sol.

I-1-Poids du paramètre visio-temporel.

Afin de commander un engin téléopéré il est nécessaire d'exercer sur lui un contrôle quasi continu. Pour cela, un tel système doit être capable de transmettre rapidement une grande quantité d'images depuis l'engin en question jusqu'à la station de contrôle. Sachant que lorsque cette fréquence et ce temps de transmission de l'image diminuent, la capacité de contrôle de l'opérateur diminue également.

Malheureusement les limitations technologiques sont telles qu'il existe plusieurs sources de délais temporels. Elles sont liées au renouvellement des images vidéos, à la transmission des actions de l'opérateur vers les organes de

commande et en retour des informations vers l'opérateur (Held and Durlach, 93). Le problème est d'autant plus complexe qu'il existe des interactions entre les délais liés au système de téléopération et les délais physiologiques des boucles de contrôle propres à chaque système sensori-moteur impliqué dans le contrôle des mouvements de l'œil, de la tête ou de la main.

Enfin, des travaux ont montré qu'un délai compris entre 50 et 100 millisecondes semble être une valeur maximale pour permettre la perception visuelle du mouvement (Lui and al., 93). De plus, il apparaît nécessaire d'avoir une fréquence de rafraîchissement uniforme et élevée pour assurer la perception directe du mouvement visuel sur un terminal de visualisation.

I-2-Poids du paramètre visio-spatial.

La question de la téléopération pose également le problème de la limitation du champ visuel exploitable par l'opérateur. En condition « naturelle », la taille du champ visuel humain est d'environ 180 degrés. De nombreuses études ont testé l'effet de la taille de ce champ sur diverses tâches telles que la capture d'un objet en mouvement ou le contrôle de la locomotion (voir par exemple Leibowitz, 86). Des résultats convergents montrent que la réduction du champ visuel périphérique produit une « compression » perceptive des tailles perçues des objets et de leur distance à l'observateur (Hagen and al., 78). On pourrait donc penser que plus on se rapproche d'un champ visuel « naturel » (en taille), meilleure va être la performance de l'opérateur, notamment dans des tâches de contrôle de la trajectoire de véhicules.

Cependant, le problème semble complexifié par le fait que, lorsque la taille du champ visuel est supérieure à 120 degrés, les sensations de vection (sensation de déplacement de soi visuellement induite) s'accompagnent parfois de troubles neurovégétatifs (Pausch and al., 93). Les malaises peuvent être attribués à des délais et discordances visio-vestibulaires liés aux limitations temporelles décrites au chapitre précédent. L'hypothèse est aussi avancée que de grands champs de vision produisent ces malaises en même temps qu'ils renforcent le réalisme de la visualisation (So, 94).

Il semble donc qu'une adéquation doive être recherchée entre le besoin d'un champ de vision suffisamment large pour permettre une bonne appréhension de l'environnement et les problèmes posés par un champ de vision trop large et trop « immersif » qui semble de nature à désorienter l'observateur.

En définitive, ces études tirées de la psychologie expérimentale, permettent de définir un champ d'investigation des comportements humains

utiles à la conception d'une CHM propre à la téléopération. D'une manière générale, l'ensemble de ces travaux mettent en évidence les limitations visuelles des feed-back temporels et spatiaux renvoyés à l'opérateur humain.

Or, un individu présente également des limitations physiologiques d'ordre spatio-temporel semblable à celle d'un système mécanique. De ce fait, il élabore des stratégies sensori-motrices afin de les compenser. Ce sont ces stratégies que nous allons étudier et tenter de modéliser afin d'optimiser notre relation Homme-machine.

II-Observations biologiques.

Après recherche bibliographique, il s'avère que les stratégies d'exploration de l'espace chez l'humain peuvent se décomposer en deux parties. Un haut niveau qui recouvre l'ensemble des aspects cognitifs supérieurs, dont en particulier les patterns d'exploration oculaire d'une scène visuel, encore appelés « scan path ». Et un bas niveau représentait par des actions davantage réflexives, telle que la coordination et la synergie entre les différents segments corporels.

II-1-Facteurs de haut niveau.

Pour une exploration statique.

Les stratégies d'exploration visuelle dépendent essentiellement des informations disponibles en vision périphérique. En effet, des travaux (Harris, 89) ont montré que la durée moyenne de la fixation oculaire diminue quand la taille du stimulus augmente, impliquant que la fixation est suivie par une saccade déclenchée par une stimulation non-fovéale. En fait, la périphérie joue le rôle d'un filtre qui présélectionne les informations à fovéaliser à partir de critères physiques simples tel que la couleur, le mouvement... (Hella, 83). D'ailleurs, en radiologie, il est conseillé au médecin de réaliser des centrations oculaires longues et à distance du cliché, pour une détection plus aisée en vision périphérique et permettre ainsi un déplacement vers une zone qui paraît plus informative (Papin and al., 1983).

Avec l'exercice, les patterns d'exploration d'une image deviennent de plus en plus stéréotypés et sont donc de plus en plus prévisibles. Du reste, les inspections les plus efficaces sont celles qui présentent les trajectoires les plus standardisées. Ceci vient du fait que l'observateur expérimenté acquiert progressivement des connaissances sur les zones susceptibles de lui fournir les informations nécessaires à l'exécution de la tâche (Neboit, 83). Pour une tâche donnée, les sujets expérimentés font moins

de fixation que les sujets débutants. De plus, le nombre de zones fixées diminue avec l'apprentissage. La concentration des fixations sur les zones pertinentes du champ traduisant une recherche sélective des indices perceptifs (Shapiro and al., 89).

Pour une image simple, les déplacements et les fixations oculaires apparaissent organisés de telle sorte que toutes les zones chargées en information (centres d'intérêt) sont fixées successivement et explorées en détail par de petits déplacements. La fixation de ces diverses zones est en outre réalisée dans un certain ordre : l'exploration débutant par le centre de l'image, le regard s'oriente le plus souvent à gauche et réalise ensuite un parcours dans le sens horaire - le parcours anti-horaire étant plus rare. Les fixations représentent 85% du temps d'exploration, sachant que la probabilité d'apparition d'un mouvement au cours d'une fixation croît plus vite lorsque l'image à explorer est complexe et chargée en information (Jeannerod and al., 68).

En ce qui concerne la perception d'une scène réelle, telle que l'exploration d'un objet peu connu, elle est guidée par les propriétés physiques de l'objet. Les fixations se concentrent sur les contours, les zones de forte brillance et les points d'inflexion de la figure en question (Lévy-Schoen, 67). Pour ce qui est de l'appariement d'un objet à un modèle, les diverses propriétés optiques de l'objet interviennent dans un ordre bien déterminé pour appeler le regard. Celui-ci se dirige vers les objets de même couleur, puis de même taille et enfin de même forme que le modèle (Williams, 66), le sujet commençant toujours par les propriétés qui ont le plus de chance de différencier en vision périphérique les objets présentés.

A partir de ces travaux, on peut dresser une liste des principales stratégies à utiliser pour optimiser l'exploration oculaire. D'abord, il faut éliminer les mouvements oculaires non nécessaires, telles que des saccades répétitives vers un même objet. Ensuite, le sujet doit utiliser son attention périphérique afin d'obtenir un coût oculomoteur moindre. Enfin, les fovéations de l'individu doivent se faire précisément sur les objets pertinents, ceci étant évidemment dépendant de la tâche à effectuer.

Pour une exploration dynamique.

Les facteurs de haut niveau sont relativement peu étudiés en condition dynamique, car ils obligent à travailler dans un contexte naturel et non plus dans les situations très contrôlées d'un laboratoire. Néanmoins, on peut retirer un certain nombre d'informations sur l'étude du rôle des mouvements oculaires dans les activités quotidiennes, à partir des travaux réalisés par Land et al (99).

Tout d'abord, il apparaît que la direction de la vision fovéale est toujours proche de l'objet à manipuler. De ce fait, on observe que peu de fixations oculaires non pertinentes. D'une manière générale, le premier objet manipulé est fixé environ 0,56 seconde et le regard est déplacé vers le prochain objet, 0,61 seconde avant que la manipulation du premier soit terminée. Sachant que le regard ne s'attarde pas plus de 3,3 secondes sur un objet et réalise sur lui une moyenne de 7 fixations oculaires.

Sur l'ensemble des fixations oculaires, environ un tiers servent à une de ces quatre fonctions (les autres servant à suppléer ces fonctions) :

- *Localiser* l'objet à utiliser ultérieurement.
- *Diriger* sa main ou l'objet présent dans sa main vers la nouvelle localisation.
- *Guider* l'approche d'un objet vers un autre.
- *Vérifier* l'état de quelques variables de l'environnement.

Ainsi, on remarque que chaque étape de nos activités quotidiennes, y compris les plus inconscientes et automatiques, sont systématiquement supervisées par notre regard. Celui-ci ayant tendance à anticiper le reste des activités motrices, comme si les mouvements oculaires représentaient un signal prédictif sur les actions à venir. Ces résultats sous-tendent l'existence d'un script mental qui guide la réalisation de nos actions. Ces dernières étant définies par un but global qui se subdivise en plusieurs sous-buts, dont le premier est représenté par les fixations oculaires prédictives.

Enfin, au vue de cette étude des facteurs de haut niveau, il est important de faire la distinction entre 2 types de mouvement oculaire exploratoire. Le premier correspond au modèle de l'exploration libre (Harris, 89), où l'œil est guidé par la saillance de l'environnement. Le second est le modèle de l'exploration destinée à la réalisation d'une tâche précise (Stark and al., 81), où le regard est guidé par le script mental propre à la tâche.

Pour ce qui concerne notre application en CHM, il apparaît clairement que le premier modèle ne se prête pas véritablement à une implémentation robotique, principalement à cause des trop grandes différences stratégiques inter-individuelles. En revanche, le second rendant compte d'un pattern davantage stéréotypé d'un individu à l'autre, il devrait être modélisable à des fins d'utilisation au sein d'une bibliothèque de gestes.

II-2-Facteurs de bas niveau.

Il a été mis en évidence, que lors de son déplacement, l'individu ne conserve pas son axe céphalique rigoureusement aligné avec le reste du corps. En effet, il apparaît que pour des trajectoires

courbes, l'orientation de la tête du sujet est déviée dans la direction de la marche, vers la concavité de la trajectoire. Plus précisément, la direction de la tête, ou plutôt du regard, guiderait le déplacement en anticipant systématiquement les changements de direction de la locomotion d'un intervalle d'environ 200 millisecondes (Grasso and al., 96). Cet intervalle d'anticipation est en fait dépendant du degré de courbure de la trajectoire. Il peut atteindre une valeur d'une seconde pour un virage à angle droit.

De même, pour le contournement d'un obstacle, les enregistrements montrent que le regard pointe en direction de l'obstacle bien avant que l'individu se trouve à son niveau, le réalignement de la tête dans la direction de la marche ne s'effectuant qu'après son franchissement (Grasso and al., 98). Ceci suggère que l'orientation du regard est contrôlée pas à pas selon un mécanisme prédictif de la nouvelle direction à emprunter (Patla and al., 91). Une stratégie de type « go where i look », ou « je vais là où je regarde » et non pas « je regarde là où je vais », semble sous-tendre ce guidage de la trajectoire de déplacement.

De telles observations ont également été recueillies pour la conduite automobile. Dans ces conditions, on constate une anticipation du regard du conducteur d'une à deux secondes avant d'atteindre la convexité de la courbe. De plus, on remarque une déviation angulaire des roues identique à celle du regard (Land and Lee, 94). Par cette stratégie l'automobiliste cherche à utiliser les propriétés optiques particulières de la tangente au virage, pour guider son véhicule ; tout comme le marcheur utilise des repères physiques stables, tel qu'un obstacle, pour contrôler le déplacement de son corps.

Pour une première application robotique, ces facteurs de bas niveau apparaissent comme étant les plus facilement implémentables dans notre système. D'ailleurs, les travaux de Murray and al. (97), ont déjà pu reproduire certaines des observations de Land et Lee, en utilisant un robot mobile à vision stéréoscopique. De plus, dans le cadre d'une coopération Homme-machine, visant à préserver les capacités encore présentes chez la personne handicapé, automatiser les comportements de bas niveau en laissant le haut niveau à la volonté de l'opérateur humain semble être une approche intéressante.

III-Applications technologiques.

III-1-Expérimentation robotique.

Pour palier à la limitation du champ visuel d'opérateurs placés en condition de téléopération, une alternative consiste à utiliser une caméra mobile permettant le balayage de l'environnement. De premières tentatives (Miller, 87 ; McGovern, 87) ont montré le rôle positif de la caméra mobile dans le contrôle de trajectoire et dans la négociation des virages. Le champ visuel étant augmenté, l'opérateur obtient une visualisation anticipée de l'environnement, cruciale pour le déclenchement de son virage.

Dans ce type de solution la question est de savoir quelle séquence de balayage doit être donnée à la caméra. En effet, la mobilité de la caméra peut causer davantage de problèmes de désorientation qu'elle ne résout de question d'anticipation de l'espace (Holzhausen, 91). Pour répondre à ceci, et à partir de l'analogie entre caméra robotique et regard humain, nous proposons un pattern de balayage semblable aux stratégies humaines, c'est à dire en orientant la caméra vers l'intérieur de la future courbe.

Pour cela, on a implémenté une rotation de caméra inversement proportionnelle au rayon de courbure de la trajectoire du robot. Plus exactement, lors de la navigation, la caméra s'oriente à la tangente de la courbe imaginaire créée par l'extrémité latérale du robot, du côté où il tourne (fig.2).

Ainsi, notre expérience va consister à comparer la qualité du pilotage du robot suivant que la caméra est immobilisée droit devant ou qu'elle est mobile. De plus, afin d'évaluer plus précisément le rapport entre le gain perceptif et les problèmes de désorientation créés par la mobilité de la caméra, nous allons rajouter 2 conditions expérimentales.

La première vise à manipuler le gain de la rotation de la caméra en ajoutant à l'algorithme une constante k de valeur 1, $\frac{1}{2}$ ou 0. Ceci nous donne donc la formule finale suivante : $\mathbf{a} = k(\text{arc cos}(\mathbf{1} - (\mathbf{I}/2)/\mathbf{r}))$. La seconde condition va comparer l'efficacité de la rotation de caméra selon que la base mobile est équipée ou non de repères de coordonnées connues. Ces repères sont des tiges de fer placées tous les 30 degrés sur l'hémi-cercle avant de la base mobile. Elles sont distinguables les unes des autres par leur degré de courbure : 0° lorsque la caméra regarde droit devant, 30° lorsqu'elle regarde à 30 degrés et ainsi de suite jusqu'à 90 degrés. Cette compatibilité entre la courbure de la tige et l'angle de la caméra a l'avantage de fournir un effort cognitif moindre, quant à la l'orientation de la caméra par rapport au porteur.

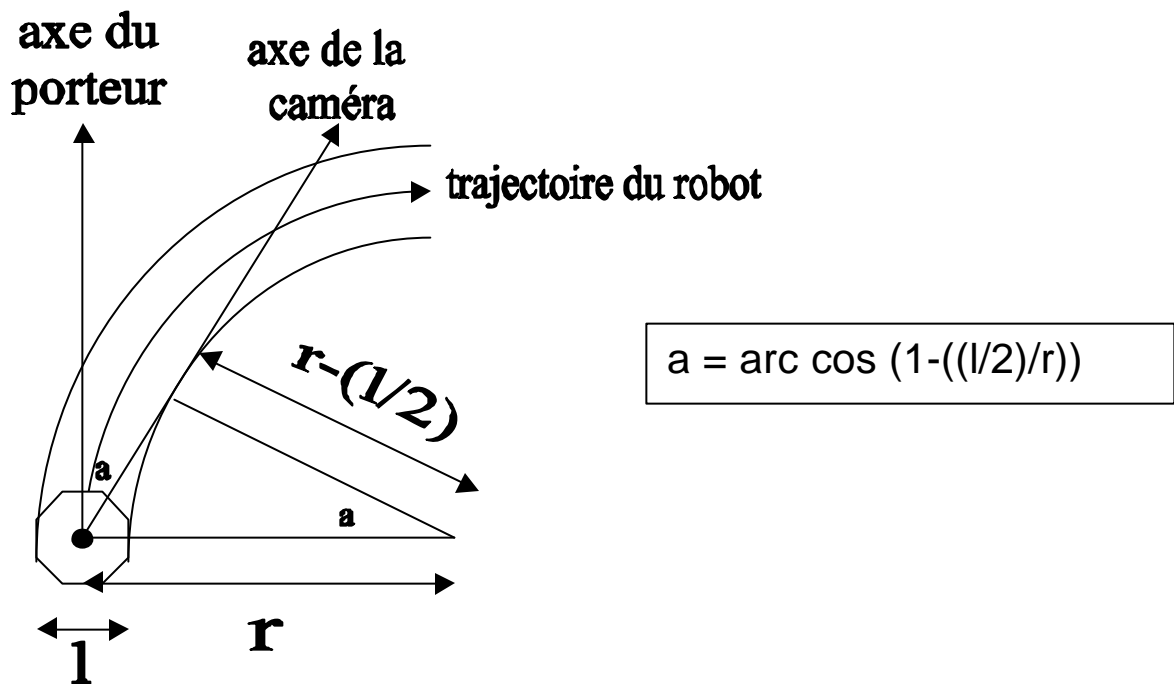


Fig.2. *Géométrie du point de tangente de la courbe intérieure. L'angle de la caméra est obtenu à partir du rayon de courbure (r) de la trajectoire du robot, en utilisant les propriétés trigonométriques. Ici, $\cos a = (r-l/2)/r$, où l/2 correspond à la demi-largeur du robot. Sachant que r est donné par le rapport de la vitesse linéaire (v) sur la vitesse angulaire (w) du déplacement.*

En ce qui concerne la tâche du sujet, il s'agit de faire réaliser au robot un parcours de slalom entre plusieurs bornes. Celles-ci sont disposées de telle manière qu'elles permettent d'effectuer des virages compris entre 90 et 180 degrés. Ce parcours est réalisé une fois dans un sens et une fois dans l'autre, afin d'éviter à ce que l'opérateur installe trop facilement des stratégies de parcours. Le tout étant effectué 2 fois pour chaque condition de gains et de repères. Ainsi, le plan expérimental est le suivant : **6 Sujets * 3 Gains * 2 Repères * 2 Parcours * 2 Essais.**

Enfin, l'évaluation expérimentale va être effectuée à partir de différents critères. Nous allons enregistrer le temps de réalisation du parcours, le nombre d'arrêts, la durée de ces arrêts, le nombre éventuel de collisions avec les obstacles et estimer le lissage des courbes. Ce dernier paramètre est quantifié à partir d'un indice calculé sur la base de la fréquence de distribution du rayon de courbure instantané de chaque trajectoire. La formule utilisée est la suivante : $r = v / w$, où r correspond au rayon de courbure, v est la vitesse linéaire et w est la vitesse angulaire. Cette analyse est particulièrement intéressante, car elle est la

seule à pouvoir évaluer la qualité des trajectoires du robot, et donc l'efficacité du contrôle visuel de l'opérateur.

III-2-Simulation informatique.

Pour autant que l'anticipation du regard vers l'intérieur de la courbe semblerait favoriser le contrôle du déplacement du robot, la littérature montre qu'à travers cela, l'humain cherche avant tout à trouver un repère stable (Zikovitz and Harris, 99 ; Land and Furneaux, 95). Ce phénomène est d'autant plus critique en téléopération, où ces repères se retrouvent rapidement dans l'angle mort de la caméra au fur et à mesure que le robot se rapproche d'eux.

C'est pourquoi une deuxième approche consiste à diriger la caméra en direction de l'obstacle à contourner, un algorithme calculant automatiquement la trajectoire idéale du robot en fonction de l'orientation de la caméra et de sa distance par rapport à l'obstacle (fig.3).

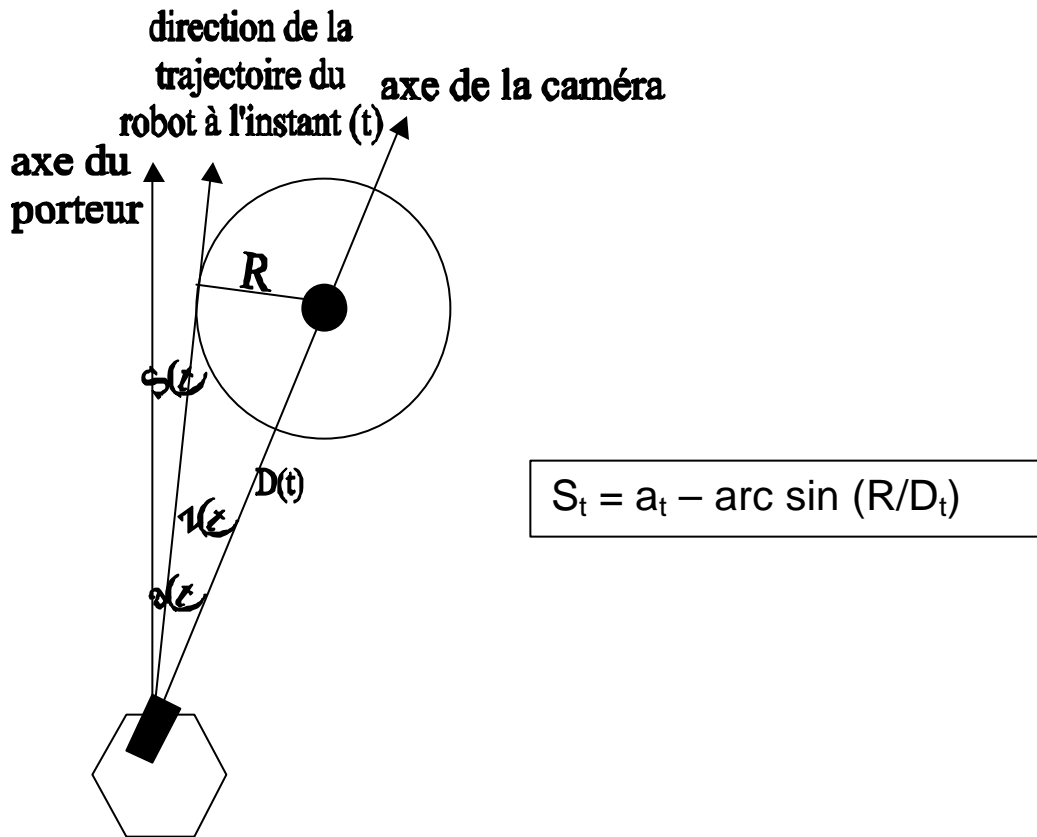


Fig.3. Calcul de l'angle de navigation. La trajectoire du robot (S) autour d'un repère est obtenue à partir de la focalisation de celui-ci. Ici, $\sin z_t = R/D_t$, où z correspond à l'angle de caméra (a) moins l'angle de navigation (S), R représente l'orbite de sécurité et D la distance entre le robot et l'obstacle. Cette distance D est recalculée à chaque itération (t), en utilisant le système odométrique du porteur et les lois trigonométriques. La formule est la suivante : $D_t = \sin a_{t-1} \sqrt{(x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2} / \sin (a_t - a_{t-1})$.

Cette modélisation, inspirée des travaux de Murray (97), a déjà fait l'objet d'une simulation avant l'implémentation définitive sur le robot (fig.4). Une fois installée, un tel mode de commande serait classé comme semi-automatique. En effet, l'opérateur se contenterait de piloter la caméra, le système retrouvant

automatiquement la trajectoire de navigation idéale. Ainsi, dans une telle configuration où l'obstacle est toujours présent dans le champ de l'opérateur, on peut s'attendre à ce que le guidage du robot soit grandement facilité et les risques de collision réduits à zéro.

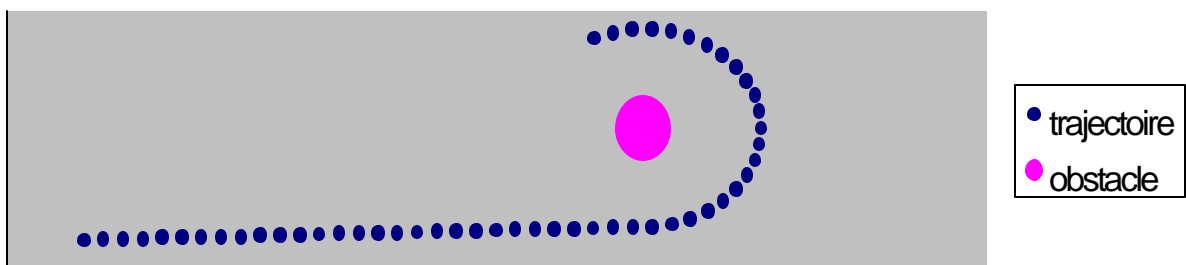


Fig.4. Simulation de la trajectoire d'un mobile utilisant la règle de navigation expliquée dans le texte. A noter que le robot décrit une trajectoire parfaitement courbe autour de l'obstacle, tout en restant à équidistance (R) de ce dernier.

IV-Conclusions.

Cette recherche a pour but de mettre en évidence l'intérêt d'utiliser des stratégies de type humaines, pour la conception des modèles de coopération Homme-machine.

Jusqu'à présent, l'évaluation des modes de commande des robots mobiles montre un net avantage des modes manuels par rapport aux automatiques. Notre objectif premier consiste donc à améliorer ces modes automatiques et semi-automatiques en les dotant de ce qui fait l'atout majeur d'un mode manuel : un fonctionnement du robot en adéquation avec le comportement de l'opérateur.

Ici, nous nous sommes limités aux stratégies humaines de bas niveau, les travaux à venir s'intéresseront davantage aux plus hauts niveaux, notamment à l'optimisation de l'exploration visuelle dans des tâches de recherche spatiale.

Bibliographie

Grasso, R., Glasauer, S., Takei, Y. and Berthoz, A., 1996, The predictive brain : anticipatory control of head direction for the steering of locomotion. *NeuroReport*, 7, 1170-1174.

Grasso, R., Prévost, P., Ivanenko, Y.P. and Berthoz, A., 1998, Eye-head coordination for the steering of locomotion in humans : an anticipatory synergy. *Neuroscience Letters*, 253, 115-118.

Hagen, M.A., Jones, R.K. and Reed, E.S., 1978, On a neglected variable in theories of pictorial perception : truncation of visual field. *Perception & Psychophysics*, 23, 326-330.

Harris C.M., 1989, The ethology of saccades : A non-cognitive model. *Biological Cybernetics*, 60, 401-410.

Held, R. and Durlach, N., 1993, Telepresence, time delay and adaptation. In S.R. Ellis, M.K. Kaiser & A.J. Grunwald (Eds). *Pictorial communication in virtual and real environments*, New York : Taylor and Francis.

Hella, F., 1983, Contribution de l'étude du champ visuel à la connaissance de l'espace de travail. *Le Travail Humain*, 1, 11-32.

Holzhausen, J., 1991, Experimental robot system for Human Engineering research in land operated vehicles. *Proceedings of the NATO Defense Research Group Seminar on Robotics in the Air Land Battle*, 203-217.

Jeannerod, M., G erin, P. and Pernier, J., 1968, Déplacement et fixation du regard dans l'exploration libre d'une scène visuelle. *Vision Research*, 8, 81-97.

Land, M.F. and Furneaux, S., 1995, Which parts of the road guide steering ? *Nature*, 377, 339-340.

Land, M.F. and Lee, D.N., 1994, Where we look when we steer ? *Nature*, 369, 742-744.

Land, M.F., Mennie, N. and Rusted, J., 1999, The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, 28, 1311-1328.

Leibowitz, H.W., 1986, Recent advances in our understanding of peripheral vision and some implications. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23, 183-193.

Lévy-Schoen, A., 1967, Les mouvements oculaires d'exploration. *Ann ee psychologique*, 67, 569-599.

Lui, A., Tharp, G., French, L., Lai, S. and Stark, L., 1993, Some of what one needs to know about head-mounted displays to improve teleoperator performance. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 9, 638-648.

McGovern, D.E., 1987, Advanced technology mobile robotics vehicle fleet. *SAND87-003*, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.

Mestre, D. and P eruch, P., 1995, Rapport final sur l'expérimentation « vision mobile » réalisée dans le cadre du contrat « Vision mobile et téléopération ». *Cognition and Mouvement*.

Miller, D.P., 1987, Evaluation of vision systems for teleoperated land vehicles. *Paper presented at the 1987 IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference*, Alexandria, Virginia, October 20-23 1987.

Murray, D.M., Reid, I.D. and Davidson, A.J., 1997, Steering without representation with the use of active fixation. *Perception*, 26, 1519-1528.

Neboit, M., 1983, Evolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et avec l'expérience professionnelle. *Le Travail Humain*, 1, 33-48.

Papin, J.P., Metges, P.J. and Hernandez, C., 1983, L'exploration visuelle en radiologie pulmonaire. *Le Travail Humain*, 1, 155-162.

Patla, A.E., Prentice, S.D., Robinson, C. and Neufeld, J., 1991, Visual control of locomotion : Strategies for changing direction and for going over obstacles. *J. Exp. Psychol. Hum. Percep. Perform.*, 17, 603-634.

Pausch, R., Crea, T. and Conway, M., 1992, A literature survey for virtual environments : Military flight simulator visual systems and simulator sickness. *Presence*, 1, 344-363.

Shapiro, K.L. and Raymond, J.E., 1989, Training of efficient oculomotor strategies enhances skill acquisition. *Acta Psychologica*, 71, 217-242.

So, R.Y., 1994, An investigation of the effects of lags on motion sickness with a head-coupled visual display. *Paper presented at the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration*, Institute of Naval Medicine, Alverstoke, Gosport, Hants, UK, 19-21 Sept 1994.

Stark L. and Ellis S.R., 1981, « Scan path revisited : Cognitive models direct action looking ». *Eye Movements : Cognition and visual Perception*, Eds D F Fisher, R A Monty, J W Senders (Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates), 193-226.

Terré, C., 1990, Conduite à distance d'un robot mobile pour la Sécurité Civile : Approche Ergonomique. *Thèse de Doctorat de Psychologie*, Université de Paris V.

Williams, L.G., 1966, The effect of target specification on objects fixated during visual search. *Perception & Psychophysics*, 1, 315-318.

Zikovitz, D.C. and Harris, L.R., 1999, Head tilt during driving. *Ergonomics*, 5, 740-746.