

O97- Méthode d'analyse intégrée d'une tâche perceptivo-motrice de pilotage hélicoptère
Hugo Loeches De La Fuente¹, Guillaume Rao¹, Jean-Christophe Sarrazin², Eric Berton¹
¹Laboratoire UMR 6233 ISM Etienne-Jules Marey, UFR STAPS,
Université de la méditerranée ²Laboratoire DCSD, ONERA
hugo.loeches-de-la-fuente@univmed.fr

Cette étude proposait une méthode d'analyse d'une tâche perceptivo-motrice de pilotage d'hélicoptère centrée sur : (1) le déplacement de l'hélicoptère dans son environnement et (2) les paramètres biomécaniques de l'activité du pilote sur les commandes. Une tâche de pilotage simulée en 3D permettait d'enregistrer le déplacement de l'hélicoptère et l'activité motrice pour différentes précisions de vol requises. Nos résultats montrent une augmentation du temps de mouvement avec l'augmentation de la difficulté et une modification des profils de vitesse cohérente avec la littérature du conflit vitesse précision. A l'inverse, l'activité musculaire dépendait de la direction du mouvement. Le cadre formel proposé permet donc d'intégrer les paramètres biomécaniques et sensorimoteurs pour évaluer globalement une interface de pilotage.

Keywords: Tâche perceptivo-motrice, Hélicoptère, Interface

INTRODUCTION

Le vol à basse altitude est une des tâches perceptivo motrices les plus exigeantes et les plus dangereuses pour les pilotes hélicoptère. En effet, le pilote doit maintenir une altitude aussi basse que possible tout en se déplaçant d'un point à un autre avec un temps de déplacement minimal dans un environnement caractérisé par un haut niveau d'incertitude (e.g., présence d'obstacles). La gestion d'un tel compromis a été largement étudiée dans le cadre du conflit vitesse-précision qui a été formalisé par Fitts (1954) en termes de quantité d'information à traiter. Les fortes similarités entre les mouvements d'évitement d'obstacles (vol à basse altitude), et la tâche de Fitts nous permettent de quantifier la performance de vol en considérant les déplacements du vecteur aérien dans son environnement. Un second niveau d'analyse permet de déterminer l'activité motrice à l'origine du contrôle des déplacements du vecteur aérien. Cependant, les méthodes d'évaluation actuelles des interfaces de pilotage hélicoptère ne tiennent pas compte des paramètres biomécaniques lors de l'analyse d'une telle tâche perceptivo motrice de pilotage. Cette double analyse pourrait par conséquent nous aider à formaliser l'évaluation d'une interface de pilotage, en considérant à la fois les aspects de la performance de vol en relation avec les contraintes environnementales et les paramètres biomécaniques de l'action motrice sur les commandes.

METHODE

13 adultes non-experts en pilotage hélicoptère ont participé à cette étude. Un logiciel de réalité virtuelle (ICE) permettait de simuler l'environnement 3D dans lequel l'hélicoptère volait suivant un modèle de vol dynamique. Les déplacements de l'hélicoptère dans le plan horizontal étaient contrôlés par un joystick et enregistrés (75 Hz). Les sujets avaient pour consigne de passer à travers 22 portes le plus rapidement possible avec un taux de réussite minimal de 75 %. Les allers retours entre les portes permettaient d'assimiler cette tâche à une tâche de Fitts continue unidimensionnelle sur l'axe médio latéral. La phase expérimentale était constituée de huit essais pour chacun des cinq Indices de Difficulté de pilotage ($ID = \log_2(2A/W)$), avec A la distance entre le centre de deux portes successives sur l'axe médio latéral et W la largeur des portes (Fitts, 1954). Les positions 3D des segments articulaires de la main et de l'avant bras étaient enregistrées (60 Hz) par six caméras (Vicon Motion System). Les angles articulaires liés aux mouvements de pronation / supination de l'avant bras et d'adduction / abduction du poignet ont été calculés. L'activité électrique (EMG) des muscles responsables de ces mouvements a été enregistrée (1980 Hz) avec un système BIOPAC MP150. Les données étaient obtenues à partir des mouvements de pilotage entre les portes disposées à droite et à gauche de façon successive et symétrique. Ces séries temporelles sinusoïdales étaient segmentées en cycle grâce à la détection de leurs points de revirement. Les cycles étaient ensuite normalisés en temps et moyennés selon la méthode du cycle moyen

normalisé (Fernandez & Bootsma, 2008) de façon à obtenir un cycle représentatif pour chaque condition. Le temps de mouvement (TM) d'un cycle, le temps d'apparition du pic de vitesse dans un cycle et l'aire du plan de Hooke (accélération vs position) ont été calculés sur le signal de position de l'hélicoptère ainsi que sur l'angle de pronation / supination de l'avant bras. Enfin, pour chaque couple musculaire agoniste-antagoniste, le niveau minimal de co-activation était calculé (Gribble, 2003). Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée pour tester l'effet significatif ($p < .05$) de l'ID sur chaque variable dépendante. Des tests post-hocs Newman Keuls ont été réalisés quand le seuil de significativité était atteint.

RESUTATS & DISCUSSION

Le but de cette étude était de formaliser l'évaluation d'une interface de pilotage hélicoptère en considérant à la fois les aspects de la performance de vol en relation avec les contraintes environnementales et les paramètres biomécaniques de l'action motrice. Les résultats concernant les déplacements du vecteur aérien ont montré une réduction du TM avec l'augmentation de l'ID ($p < 0.05$). De plus, quand l'ID augmentait, les profils de vitesse perdaient leurs profils symétriques avec une apparition du pic plus tôt dans le cycle ($p < .05$) et l'aire des plans de Hooke augmentait ($p < .05$). Nos résultats relatifs aux déplacements du vecteur aérien étaient similaires à ceux concernant les angles articulaires. En effet, l'augmentation de l'ID entraînait également une réduction du TM ($p < .05$) et une augmentation de l'aire des plans de Hooke ($p < .05$) pour le signal de l'angle de pronation / supination. Ainsi, en accord avec Fernandez et Bootsma (2008), nos résultats montrent que l'augmentation de la difficulté de la tâche entraîne un patron de mouvement non harmonique et une diminution de la performance pour les déplacements du vecteur aérien comme pour les déplacements des segments articulaires. Cette observation valide l'utilisation du paradigme de Fitts dans notre cadre expérimental. Par ailleurs les mouvements nécessitant une plus grande précision (ID plus élevé) étaient associés à de plus hauts niveaux de co-activation ($p < .05$) des muscles responsables des mouvements de pronation / supination pour les mouvements dirigés vers la droite (supination). Cependant cet effet n'était pas observé pour les mouvements dirigés vers la gauche (pronation). Ces résultats en accord avec la littérature (Gribble, 2003) démontrent que le CNS module la co-activation musculaire en fonction des contraintes de précision et de direction. Cette asymétrie serait due aux différentes stratégies neuromusculaires employées par les sujets pour contrôler les mouvements en supination ou en pronation, en fonction des sollicitations biomécaniques du mouvement. Ainsi analyser seulement cette tâche du point de vue des déplacements du vecteur aérien ne permet pas de considérer les paramètres biomécaniques. Or une interface ergonomique doit être conçue en intégrant les principes CES (confort, efficacité, sécurité) qui nécessitent une analyse globale. Cette étude a montré l'intérêt d'analyser à la fois les déplacements du vecteur aérien dans son environnement et l'activité motrice du sujet. Par conséquent le cadre formel sur lequel cette méthode d'analyse intégrée est proposée pourrait aider à évaluer d'une façon ergonomique les interfaces de pilotage hélicoptère.

BIBLIOGRAPHIE

- Buchanan, T. S., Moniz, M. J., Dewald, J. P. A., Rymer, W. Z. (2004). Estimation of muscle forces about the wrist joint during isometric tasks using an EMG coefficient method. *Journal of Biomechanics*, 26, 547-560.
- Fernandez, L., & Bootsma, R.J. (2008). Non linear gaining in precision aiming : Making Fitts' task a bit easier. *Acta Psychologica*, 219, 217-227.
- Fitts, P., M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Gribble, P. L., Mullin, L., Cothros, N., Mattar, A. (2003). Role of cocontraction in arm movement accuracy. *Journal of Neurophysiology*, 89, 2396-405.