

Proposition de protocole expérimental ARCo'06: Etude de l'adaptation aux délais sensorimoteurs

Marieke Rohde^{1,2}, Olivier Gapenne²

¹CCNR, University of Sussex, Grande Bretagne

and

²COSTECH, UTC, France

m.rohde@sussex.ac.uk

14 novembre 2006

1 Adaptation au délai et jugement temporel

En 2001, Cunningham et al. ont présenté d'intéressants résultats concernant l'adaptation des sujets à l'introduction d'un délai au sein d'une boucle sensorimotrice impliquant un feedback visuel. L'adaptation a été mise en évidence pour un délai fixe de 200 ms [1] dans des tâches de simulation de pilotage où les sujets devaient éviter des obstacles. Ces résultats sont intéressants pour deux raisons :

Premièrement, des expériences antérieures ayant étudié l'adaptation aux délais sensorimoteurs (par exemple, [3, 6, 7]), n'ont pas mis en évidence, de façon nette, une plasticité des comportements sensorimoteurs relativement à la modulation temporelle du lien action-sensation¹.

Deuxièmement, dans ces expériences, quelques sujets ont rapporté spontanément après l'entraînement qu'ils ne percevaient plus les délais sensoriels, et que la suppression du délai (en post-test) avait pour conséquence de donner l'impression que la conséquence de l'action (mouvement perçu visuellement) paraissait précéder l'action elle-même (le mouvement de la souris). Ces résultats anecdotiques et qualitatifs paraissent très intéressants puisqu'ils semblent indiquer que l'adaptation à une perturbation temporelle de la boucle sensori-motrice peut produire des changements au niveau des jugements conscients relatifs à l'ordonnancement temporel des événements (succession ou simultané).

En 2006, Stetson et al. [8] ont mené des études psychophysiques pour étudier ce phénomène particulier. Stetson et al. suggèrent qu'un mécanisme spécifique et dynamiquement ajustable est nécessaire pour opérer les jugements d'ordonnancement et de causalité temporel. Ce mécanisme implicite de calibration temporelle procéderait à l'extraction d'information sur l'ordre des événements senso-

¹De tels délais existent évidemment dans l'interaction naturelle, mais on pensait que l'allongement de ces délais perturberait profondément et définitivement l'activité.

riels d'une façon probabiliste, continue et automatique. Les sujets appuyaient sur des boutons pour déclencher un stimulus visuel, l'apparition du stimulus s'opérant avec un délai statistiquement distribué autour de 135 ms.

Bien qu'ils aient montré un changement du jugement temporel dans une fenêtre limitée à 44 ms chez la majorité des sujets, ces changements du jugement temporel ne sont pas observés pour des délais similaires à ceux de Cunningham et al. Nous proposons que cette différence dans l'empan temporel auquel les sujets sont susceptibles de s'adapter (200 versus 44) est liée à des différences de protocoles expérimentaux. De notre point de vue, l'élément important est que, dans l'expérience de Stetson et al., la variabilité des valeurs du délai n'a pas de pertinence en soi pour les sujets (dimension aléatoire du feedback et déconnexion de ce dernier avec l'action) ; il s'agit avant tout d'une variable secondaire que l'on fait varier aléatoirement pour des raisons de contrôle expérimental². La constance du feedback et son lien aux actions sont probablement des contraintes importantes pour qu'émerge l'adaptation au délai. En ce sens, des travaux (par exemple, cités dans Noë et O'Regan [5]) ont mis en évidence l'importance de l'engagement exploratoire et attentionnel relativement à certains aspects de l'environnement.

Pour approfondir cette question de l'adaptation au délai et de ses effets sur le jugement temporel, nous proposons à la suite une expérience avec des délais sensoriels dans un environnement simulé minimal (voir plus loin). En outre, et en dépit de l'intérêt d'une enquête phénoménologique concernant le vécu temporel des sujets dans cette situation, nous nous sommes limités à une enquête comportementale concernant l'adaptation, proche de l'étude menée par Cunningham et al. dans [1]. Plus précisément, l'objectif de cette étude est de mettre en évidence les conditions nécessaires (mais peut-être pas suffisantes) pour produire une perturbation du jugement de simultanéité.

Ainsi, si l'on peut montrer que l'introduction d'un délai fixe et associé aux actions des sujets a pour effet une adaptation comportementale, cela indiquerait que Stetson et al. n'observent pas de recalibration forte du jugement de simultanéité dans leur expérience.

2 Protocole expérimental

Le montage expérimental que nous proposons est inspiré par les expériences de Cunningham et al.[1], dans lesquelles les sujets doivent piloter un petit avion au travers d'un parcours d'obstacles. Nous avons opté pour une approche minimale de la situation permettant d'accroître le contrôle de la situation et la précision des mesures des trajectoires d'évitement.

La situation est un environnement virtuel 2D où les sujets, yeux bandés, peuvent se déplacer de gauche à droite (et inversement) en utilisant une souris. Des objets tombent, avec une vitesse constante, mais distincte pour chaque objet. Les sujets doivent éviter les collisions avec les objets ; une collision est

² « It may be that motor-sensory timing shifts of 100 ms are beyond the hardware limitations of the calibration mechanisms. » [8], p. 656.

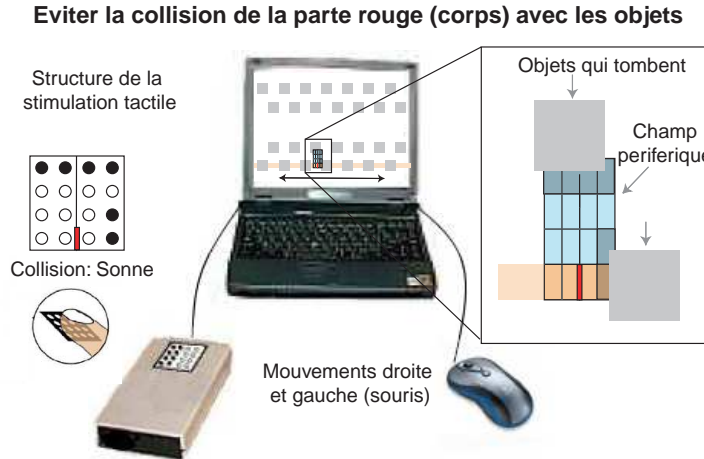


FIG. 1 – Le montage expérimental

indiquée par un signal sonore et se produit lorsqu'un objet touche la partie rouge de leur « corps » (partie rouge dans la figure). Pour anticiper et éviter les collisions, les sujets disposent d'un champ « périphérique » dont l'activation produit des stimulations tactiles délivrées au moyen de 2 cellules Braille. Un codage entre la position de l'objet relativement à la zone rouge et la stimulation est effectué permettant au sujet d'apprendre à anticiper les collisions. Il faut indiquer que la chute des objets est spatialement organisée pour qu'il n'y ait pas de position du sujet telle qu'il pourrait s'immobiliser et ne plus recevoir d'objets. Le déplacement est donc nécessaire si l'on souhaite éviter complètement les collisions.

Toujours inspirés par les expériences de Cunningham et al.[1], la procédure comprend trois étapes : la première (5 min.) consiste en un pré-test où les sujets réalisent la tâche sans délai, la seconde est une phase (2×5 min.) d'adaptation au délai de 300 ms et la troisième est un post-test (2 min.) où les sujets réalisent de nouveau la tâche sans délai. Cette dernière phase est importante puisque nous inférons le niveau d'adaptation des sujets au délai en fonction des performances obtenues lors de cette phase. L'hypothèse est que l'adaptation (constituée à l'étape 2) est d'autant plus forte que les performances mesurées à l'étape 3 sont mauvaises comparativement à celles mesurées à l'étape 1.

En outre, nous comparons deux conditions relatives à la structure du parcours d'obstacle (voir figure 2). Dans les deux conditions, il est possible d'éviter les obstacles de façon similaire : si le sujet sent un objet s'approcher, il se déplace jusqu'à ce que le prochain objet s'approche, etc. Cependant, dans la condition (A), il y a une fenêtre temporelle brève pendant laquelle le sujet peut éviter les deux types de collision (passives ou actives). Autrement dit, la stratégie « bouger au dernier moment » (stratégie rouge dans la figure) est viable dans les deux

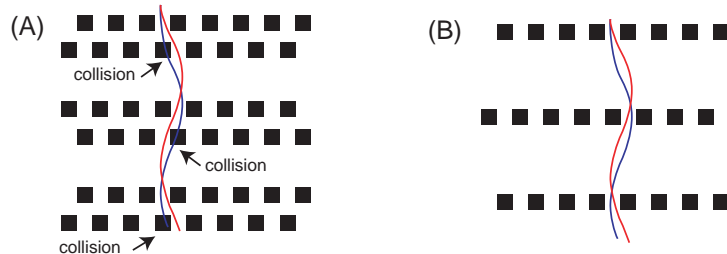


FIG. 2 – (A) condition test (délai pertinent) (B) condition contrôle (délai impertinent).

conditions tandis que la stratégie « bouger à la première stimulation » (stratégie bleu dans la figure) n'est viable que dans la condition (B).

Il est important de remarquer que, en matière de corrélation entre sensations et mouvements, le délai a la même conséquence dans les deux conditions (l'effet du mouvement de la souris est suivi par un changement de la stimulation tactile retardée). Donc, s'il y a un mécanisme consacré à la calibration de la relation temporelle fondé uniquement sur des relations statistiques entre cause et conséquence, comme Stetson et al. le supposent, une adaptation de la même amplitude devrait avoir lieu dans les deux conditions. Notre hypothèse pose, au contraire, que les deux conditions sont différents, la prise en compte par les sujets des délais va influencer sur leur adaptation. Nous supposons qu'il y aura une adaptation plus forte dans la condition (A) que dans la condition (B), voire même qu'il n'y aura aucune adaptation dans la condition (B).

Si les résultats vont dans le sens de l'hypothèse alors cela ouvrirait des perspectives d'études sur les possibilités de calibration temporelle et sur les jugements de simultanéité et de causalité. Cela pourrait consister à reprendre des expériences psychophysiques similaires à celles produites par Stetson et al. [8] en proposant cependant un cadre interprétatif distinct. Effectivement, l'hypothèse d'un module interne assurant par le calcul l'adaptation nous paraît peu crédible et serait computationnellement très coûteuse. Un tel module aurait besoin des représentations explicites et détaillées de tous les aspects du comportement : action, sensation correspondante, adéquation au but, étiquetage temporel, application et vérification de règle concernant la causalité.

Nous imaginons, plutôt, l'adaptation aux délais comme un processus dynamique et global d'auto-organisation des comportements sensorimoteurs, qui serait perturbé par l'introduction des délais artificiellement prolongés, et qui serait restauré pendant l'entraînement, tant au plan sensorimoteur, qu'au plan des jugements temporels.

Références

- [1] Cunningham, D.W., Billock, V.A. and Tsou, B.H. (2001) : Sensorimotor adaptation to violations of temporal contiguity. *Psychological Science* 12(6), 532-535.
- [2] Cunningham, D.W., A. Chatziastros, M. von der Heyde and H.H. Bühlhoff (2001) : Driving in the future : Temporal visuomotor adaptation and generalization. *Journal of Vision* 1(2), 88-98
- [3] Held, R., Efstathiou, A. & Greene, M. (1966) : Adaptation to displaced and delayed visual feedback from the hand. *Journal of experimental psychology*, 72. 887–891.
- [4] Lenay C., Gapenne O., Hanneton S., Marque C. et Genouëlle C. Traduction anglaise (2003). *Sensory Substitution, Limits and Perspectives*, in : *Touch for Knowing*, John Benjamins Publishers, Amsterdam.
- [5] O'Regan, J.K. & A. Noë (2001) : A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 939-1011.
- [6] Sheridan, T.B. & Ferrel, W.R. (1963) : Remote manipulative control with transmission delay. *Perceptual and Motor Skills*, 20, 1070-1072.
- [7] Smith K.U. and W. M. Smith (1962) : *Perception and motion : an analysis of space-structured behavior*. Philadelphia, Saunders.
- [8] Stetson, C, X. Cui, P. R. Montague amd D. M. Eagleman (2006) : Illusory temporal reversal of action and effect reveals neural conflict response. *Neuron*. 51(5) : 651-9.