STAPS – 27 : 21-29 (Février 1992)

Evolution des erreurs en direction et en distance dans une tâche de pointage d'une cible visuelle ou proprioceptive

J.-L. BOUCHER *, J.-L. VELAY **, J. PAILLARD ***

RÉSUMÉ

Nous avons comparé la précision en direction et en distance d'un pointage manuel vers une cible définie par des signaux sensoriels de nature différente. En situation kinesthésique (K), la cible était constituée par la main droite que les sujets devaient positionner en aveugle puis pointer le plus précisément possible à l'aide de leur index gauche. En situation visuo-kinesthésique (VK), la main droite cible était vue pendant son positionnement, et en situation visuelle (V) seule une cible visuelle était à pointer. Nous avons fait varier le délai séparant le positionnement de la cible de son repérage par la main gauche. Les résultats indiquent que la vision permet de mieux définir la direction dans laquelle se trouve la cible, alors que les informations kinesthésiques permettent de mieux préciser sa distance. L'étude de l'évolution temporelle du pointage différé révèle une détérioration différente de la précision en distance et en direction : l'erreur de distance augmente progressivement jusqu'à 16 secondes puis se stabilise ; l'erreur de direction augmente rapidement jusqu'à 8 secondes après quoi elle se stabilise. Ces résultats suggèrent que la direction d'un point serait plutôt sous la dépendance de la vision, que sa distance serait mieux perçue au moyen de la proprioception et que les deux paramètres direction et distance dépendraient de mécanismes centraux distincts.

Mots-clés : pointage manuel, mémoire motrice à court terme, vision, proprioception, direction/distance.

* École des sciences de l'activité physique, Université d'Ottawa, 125 Université Ottawa, Ontario, Canada, K1N6N5.

** Laboratoire de Neurobiologie humaine. Université de Provence, Centre de Saint Jérôme, 13397 Marseille Cedex 13.

*** CNRS-LNF2, 31 chemin J. Aiguier, B.P. 71, 13402 Marseille Cedex 9.

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the effects of different sources of sensory information on the accuracy with which the location of a target-point can be estimated in direction and in distance. In the kinesthetic condition, subjects were required to blindly position their right index finger and to identify, using their left index finger, it location. In the visual-kinesthetic condition, subjects viewed the displacement of their right index finger as it was being actively positioned in space. In the visual condition, subjects were required to identify the location of a visually positioned target-point. Six different time intervals regulated the delay interpolated between the positioning of the right index finger and the recall of its location. The results suggest that vision has helped in better defining the direction of the target-point whereas kinesthetic information has assisted in the definition of its distance. The analysis of the delay intervals has shown (1) a gradual deterioration in the accuracy with which distance was estimated until the 16-sec delay interval, after which the error stabilized, and (2) that the error in direction rapidly became greater as the interval increased until the 8-sec delay interval and then stabilized. These results seem to suggest that the direction of a target-point is dependent upon vision, that kinesthetic information enhances the perception of distance and that both parameters, direction and distance, are subject to two distinct central processing mechanisms.

Key-words : aiming, short-term motor memory, vision, proprioception, direction/distance.

L'atteinte manuelle d'un objet constitue l'archétype des activités orientées dans l'espace. L'exécution efficace d'un tel geste nécessite d'une part que l'objet et la main soient conjointement localisés dans une représentation interne de l'espace et d'autre part que l'amplitude et la direction du mouvement soient spécifiées précisément (Paillard, 1985). Si le plus souvent la cible est perçue grâce à une modalité sensorielle extéroceptive, généralement la vision, le cas de la main est plus complexe. La main est en effet l'extrémité d'un segment corporel, dont la position peut être connue dans l'espace du corps au moyen des signaux kinesthésiques. Elle constitue également un point particulier de l'espace extra-personnel qui peut être déplacé vers les objets, sous le contrôle de la vision. L'organisation spatiale des mouvements visuellement déclenchés nécessite de ce fait que des signaux sensoriels de nature différente soient combinés pour l'émergence d'une représentation homogène de l'espace dans laquelle sont planifiés les mouvements. De quelle modalité sensorielle dérivent les signaux qui seraient le support de cette représentation ?

C'est un débat ancien de la psychologie (*cf.* Rock & Harris, 1967, Hatwell, 1986). Bien sûr, la vision est l'outil privilégié de la perception spatiale et on a longtemps parlé d' « image mentale » à propos de la représentation de l'espace et des mouvements. Toutefois un même objet peut être repéré sur la base de signaux de nature diverse, visuels, auditifs et même kinesthésiques. Le point de l'espace où se trouve la main par exemple est perçu à la fois visuellement et proprioceptivement et lorsqu'il existe un conflit entre ces informations, l'avantage revient le plus souvent à la vision ; c'est ce que l'on peut constater par l'utilisation de prismes qui, en déviant l'espace visuel, décorrèlent proprioception et vision (Held & Hein, 1958). De même, les vibrations tendineuses permettent d'agir sélectivement sur les afférences proprioceptives musculaires ; elles engendrent des illusions kinesthésiques en absence de vision du membre vibré (Eklund, 1972). Or les vibrations sont inefficaces si le membre peut être vu pendant leur application, ce qui tend à démontrer une fois de plus la suprématie de la vision sur les signaux proprioceptifs.

Toutefois, cette domination n'est pas absolue comme l'ont montré Levine et Lackner (1979) qui, en vibrant le tendon du biceps brachial, purent induire une illusion visuelle de mouvement d'un point lumineux situé sur la main.

La représentation de l'espace est donc par essence un mécanisme plurimodalitaire. Comment des signaux sensoriels de nature différente sont-ils associés pour finalement contribuer à l'émergence d'une représentation homogène de l'espace ? Existe-t-il une carte de l'espace propre à chaque modalité ou bien une carte unique, plurimodalitaire, donc a-modalitaire (Gibson, 1966), où convergeraient tous ces signaux sensoriels redondants ?

Une autre question, directement liée à la représentation de l'espace, est celle de la mémorisation de l'information spatiale. En effet, une représentation interne ne se justifie que si elle peut exister à un moment donné en l'absence de signaux sensoriels. Or, certains travaux tendent à démonter que les informations visuelles et kinesthésiques n'ont pas les mêmes caractéristiques de rétention en mémoire à court terme. Les indices spatiaux visuels recueillis au cours d'un mouvement seraient mieux conservés en mémoire que les indices kinesthésiques engendrés par le même mouvement (Posner, 1967).

Enfin, on peut penser que la fonction d'un tel modèle interne de l'espace serait de servir de cadre de référence pour la planification spatiale des mouvements. Or des données récentes de l'électrophysiologie unitaire suggèrent que la décharge de certaines cellules corticales coderait un vecteur de même direction que le mouvement effectivement réalisé (Georgopoulos *et al.,* 1988 ; Schwartz *et al.,* 1988). S'il en est ainsi au niveau de la sortie motrice, pourquoi les positions des membres ne seraient-elles pas centralement représentées au moyen d'un code similaire, par un vecteur spécifiant la direction et la distance du point de l'espace que ces postures permettent d'atteindre ?

Pour tenter d'apporter des éléments de réponse à ces questions, nous avons comparé la précision avec laquelle il est possible de repérer la position d'un point dans l'espace quand ce point est défini soit par des indices visuels, soit par des indices kinesthésiques, soit par les deux types d'indices simultanément. En outre, nous avons comparé la rétention en mémoire à court terme des positions définies par l'un et/ou l'autre de ces indices en faisant varier le délai séparant le positionnement du repérage. Enfin nous avons analysé l'erreur commise en différenciant ses composantes direction et distance.

MÉTHODES

Sujets

Dix sujets (6 hommes et 4 femmes) âgés de 19 à 28 ans ont participé à cette expérience. Tous étaient droitiers et ne présentaient aucune déficience visuelle et/ou proprioceptive connue.

Dispositif expérimental

Le dispositif est schématisé sur la figure 1. Le sujet est assis, son bras droit reposant sur un support métallique articulé au niveau du coude et de l'épaule. A l'extrémité du support se trouve une plaque dont le centre est situé très exactement à la verticale de l'index droit. Sous la plaque est précisément appliquée une feuille de papier millimétré (16 cm x 16 cm) que le sujet perfore lors du pointage grâce à une petite aiguille fixée à son index gauche. Les coordonnées du pointage sont ainsi directement mesurables sur la feuille de papier millimétré. La plaque coulisse sur une tige métallique horizontale et elle pivote autour d'un axe vertical au niveau de son centre. La tige qui sert de guide à la plaque est fixée devant le sujet et elle-même pivote autour d'un axe vertical. Ce dispositif permet de maintenir la plaque dans une orientation constante quelle que soit sa position dans l'espace (*cf.* figure 1). Les erreurs mesurées sur l'axe orienté vers le sujet (axe Y) peuvent alors être considérées comme des erreurs de distance et celles mesurées sur l'axe perpendiculaire (axe X) sont des erreurs de direction.

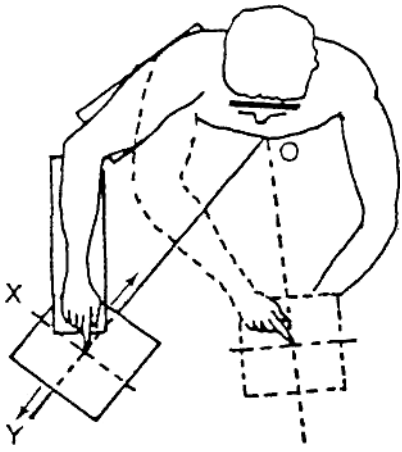


Fig 1. - Vue schématique du dispositif expérimental. C : cible, O : axe de rotation de la tige guide de la cible, X et Y : axes de la cible sur lesquels sont mesurées les erreurs de direction et de distance respectivement. Le schéma indique comment la grille était maintenue dans une direction constante par rapport au sujet grâce à la tige guide OY.

Conditions expérimentales

Deux facteurs ont été étudiés dans cette expérience :

Le premier concerne la nature des signaux sensoriels informant sur la position de la cible :

1) en condition kinesthésique (K) : la position de la cible n'est connue que sur la base de signaux kinesthésiques consécutifs au mouvement de mise en position ;

2) en condition visuo-kinesthésique (VK) : la position de la cible est donnée simultanément par les indices visuels et kinesthésiques ;

3) condition visuelle (V) : la position de la cible n'est donnée que par la vision.

Le second facteur expérimental concerne le délai séparant le positionnement de la cible de son repérage. L'intervalle de temps entre la fin du positionnement du bras cible et le pointage pouvait être de 0,4, 8, 12, 16 ou 20 secondes.

Au total, l'expérience comportait 18 situations expérimentales (3 modalités x 6 délais) réparties en 10 essais consécutifs de pointage dans chacune des 18 situations (n = 180). Un essai de pointage consistait 1) à positionner la cible en un point de l'espace selon une des trois conditions sensorielles puis 2), suite au délai temporel prévu, à repérer celle-ci en aveugle à l'aide de l'index gauche. En situation kinesthésique et lors des gestes de repérage, le sujet portait des lunettes opaques.

Procédure

Quelle que soit la nature de la modalité sensorielle dans laquelle était codée la position cible, les sujets avaient pour tâche de pointer en aveugle le plus précisément possible sous le centre de la plaque avec leur index gauche. Dans les situations K et VK, les sujets savaient que le centre de la plaque correspondait à l'emplacement où se trouvait leur index droit.

Situation kinesthésique (K). Dans cette situation, le sujet portait des lunettes opaques pour la durée de l'essai. Au début de l'essai, la main droite cible était placée sur le support en position initiale, contre la poitrine du sujet à la hauteur du sternum. Ensuite, celui-ci déplaçait sa main droite vers un point choisi par lui et il l'immobilisait. A cet instant, l'expérimentateur déclenchait le magnétophone sur lequel était pré-enregistré le signal sonore indiquant le moment d'effectuer le pointage précédé par le délai variable. Pendant le délai, les sujets devaient simplement maintenir le bras droit en position finale.

Situation visuo-kinesthésique (VK). Elle était analogue à la situation précédente, mais les sujets ne portaient pas de lunettes opaques au moment du positionnement de la cible. Ils regardaient le mouvement qu'ils accomplissaient. La position finale identifiée, le magnétophone était immédiatement déclenché et les lunettes opaques abaissées devant les yeux du sujet jusqu'à la fin du geste de repérage.

Situation visuelle (V). Le bras droit ne reposait plus sur la plaque qui était alors déplacée par l'expérimentateur sous le regard du sujet. C'est le sujet qui choisissait la position finale en donnant l'ordre à l'expérimentateur d'immobiliser la plaque. A ce moment, le magnétophone était mis en

marche et les lunettes opaques abaissées devant les yeux du sujet jusqu'à la fin du geste du repérage.
L'ordre de passation des 18 situations expérimentales résultant des différentes combinaisons possibles modalité sensorielle (3) et délai temporel (6) a été prédéterminé de façon aléatoire pour chacun des sujets. Chacune de ces situations expérimentales a été passée par blocs de 10 essais consécutifs. La position finale de la cible devait varier chaque fois pour se situer à l'intérieur d'une zone ayant un rayon maximal de 60 cm (distance) et allant de 45 à 135 degrés (direction) afin d'éviter toute possibilité pour le sujet de privilégier une zone donnée de l'espace. Tout au long de l'expérimentation, l'accent fut mis sur la précision du pointage de l'index gauche et sur l'état de relaxation du bras droit. En début d'expérience, les sujets effectuaient quelques essais destinés à les familiariser avec les diverses situations expérimentales.

Enregistrement des données et traitement statistique

La précision spatiale a été calculée en mesurant les coordonnées X et Y sur la plaque. L'origine (point (0, 0)) se trouvait sous le centre de la plaque c'est-à-dire sous l'index cible. Grâce au dispositif que nous avons utilisé, il était possible de distinguer deux composantes à la précision : l'erreur sur l'axe X de la plaque a été considérée comme l'erreur de direction et de même, la composante sur l'axe Y a été considérée comme l'erreur de distance

Étant donné que tout manque de précision du geste résultait en une surévaluation ou une sous-évaluation de l'emplacement du point cible généralement exprimé par une erreur soit positive soit négative et que l'objectif premier de cette recherche était d'étudier l'évolution même de l'erreur chez les sujets, l'erreur algébrique a été retenue comme la mesure logique et idéale. Ainsi un pointage à gauche du centre de la cible correspondait à une erreur de direction négative et une sous-estimation à une erreur de distance négative. Les erreurs de direction et distance ont été calculées pour chacun des 10 essais puis moyennées pour chaque situation et chaque sujet. Ces moyennes furent soumises à une analyse de variance à deux facteurs (modalité de positionnement x délai).

RÉSULTATS

Erreur de distance

Comme l'indique la figure 2, la tendance moyenne est à sous-estimer la distance à laquelle se trouve l'index droit. Toutes modalités confondues, l'erreur de distance augmente de façon significative avec le délai, $F(5,45) = 6.18$, $p<.0005$. L'augmentation de l'erreur avec le délai s'observe pour chaque modalité prise isolément : pour V, $F(5,45) = 3.03$, $p < .025$; pour K

TABLEAU I. - Effets du délai temporel sur l'erreur en direction et en distance dans une tâche de pointage d'une cible visuelle ou proprioceptive

Délai (sec.)	Direction			Distance		
	V	VK	K	V	VK	K
0	-1.91	-3.04	- 10.48	0.70	-1.03	2.89
4	-5.46	-9.39	-18.21	-4.38	-7.23	4.46
8	-11.74	-16.23	- 13.30	-4.76	- 10.25	-4.96
12	-10.28	- 14.60	-18.89	-10.61	-11.32	-6.76
16	-8.36	-19.38	-20.93	- 16.86	- 13.94	-3.03
20	-10.95	-16.70	- 20.98	- 12.87	- 12.77	- 12.76

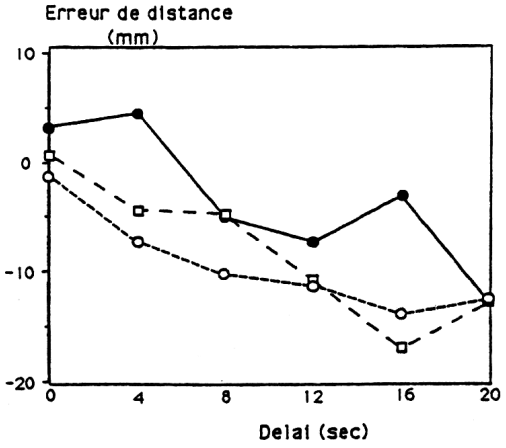


FIG. 2. - Erreur de distance en fonction du délai dans les trois situations de positionnement.

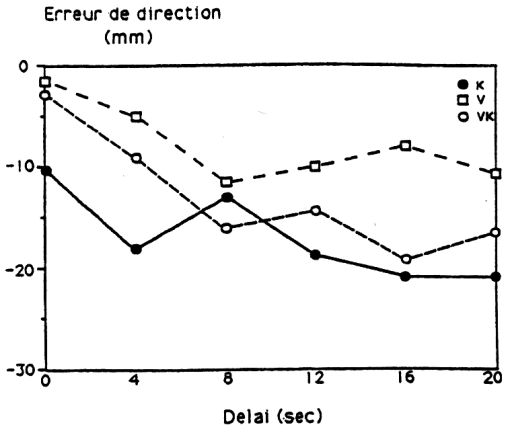


FIG. 3. - Erreur de direction en fonction du délai dans les trois situations de positionnement.

F (5,45) = 4.11, $p < .005$ et pour VK, F (5,45) = 2.48, $p < .05$. Une analyse de tendance a montré que l'erreur de distance évolue linéairement ; la composante linéaire est significative pour chacune des trois situations V, VK et K.

L'erreur de distance varie avec les conditions de positionnement ; K est la modalité qui conduit à l'erreur de distance la plus faible et VK à l'erreur la plus importante (figure 4). Ces deux situations se différencient, K vs VK, F (1,9) = 9.83, $p < .025$). V donne une performance intermédiaire qui ne se différencie ni de K ni de VK. Cependant, si on compare les deux situations où V intervient (V+VK) avec la situation K, il existe une différence significative, F (1,9) = 7.45, $p < .025$). Cela indique que l'erreur de distance est plus importante lorsque la position est atteinte sous le contrôle de la vision.

Erreur de direction

La tendance moyenne est à pointer à gauche de l'index droit (figure 3).

Toutes modalités confondues, l'erreur de direction augmente avec le délai, F (5,45) = 3.52, $p < .01$). L'analyse de tendance donne une composante linéaire significative. Mais cette tendance n'est pas significative pour chaque situation prise isolément. Toutefois, pour V et VK, une composante linéaire significative existe jusqu'à 8 secondes seulement, après quoi l'erreur de direction n'augmente pratiquement plus.

L'erreur de direction varie avec la modalité de mise en position. C'est la modalité visuelle (V) qui donne lieu à l'erreur de direction la plus faible (figure 4). La différence avec la situation K est significative. La situation VK donne une performance intermédiaire. En fait, pour les délais courts (0 et 4 sec), elle donne lieu à une performance proche de celle obtenue en V et après 4 secondes, la performance en VK se dégrade et tend à se confondre avec celle obtenue en K. En effet, pour les délais supérieurs à 4 secondes : V vs K, F (1,9) = 6.95, $p<.05$; V vs VK, $F(1,9)= 4.79$, $p<.10$ et VK vs K, $F< 1$, ns.

Sur la figure 4 sont représentés les résultats tous délais confondus.

DISCUSSION

Intervalle temporel

Les résultats de cette expérience montrent que la précision avec laquelle la cible est localisée diminue avec le délai séparant la mise en position de la cible et le repérage. Cependant, l'évolution de la performance ne suit pas le même décours selon l'erreur mesurée. En effet, l'erreur de distance augmente de façon linéaire avec le délai, quels que soient les signaux sensoriels présents lors du positionnement. Par contre, l'erreur

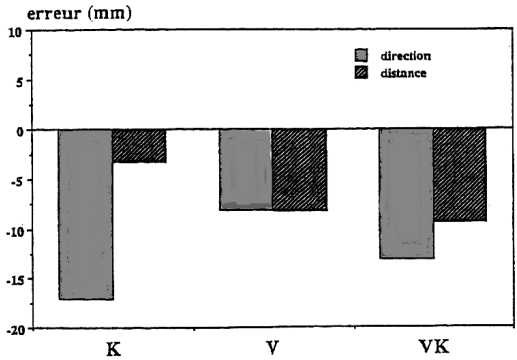


FIG. 4. - Erreur de direction et de distance, tous délais confondus, pour les trois situations de positionnement.

de direction augmente surtout pendant les huit premières secondes, notamment lorsque la position finale a été définie visuellement. Dans les travaux consacrés à l'étude de la mémoire à court terme, il est classique de constater que la précision avec laquelle un mouvement est reproduit, ou une position finale localisée, se détériore avec le temps (Adams & Dijkstra, 1968 ; Adams *et al.,* 1972 ; Posner, 1967 ; Stelmach, 1977).

Il faut souligner toutefois que dans les situations K et VK telles que nous les avons définies, le bras droit était maintenu en position et par conséquent les informations kinesthésiques étaient encore présentes lors du pointage et donc pas nécessairement mémorisées. Paillard et Brouchon (1974), qui ont étudié l'évolution de la sensation de position stabilisée avec le temps, ont en effet montré que le repérage d'un membre en aveugle se détériore progressivement jusqu'à quinze secondes puis se stabilise, et ils ont suggéré que cela était dû à l'adaptation des récepteurs proprioceptifs responsables des sensations de position et de mouvement.

Nos résultats confirment ces données en ce qui concerne la localisation kinesthésique de la position d'un membre ; par contre ils sont en contradiction avec ceux de Posner (1967) en ce qui concerne la localisation visuelle. En effet, la précision du repérage diminue même dans la situation V ce qui n'était pas le cas dans l'expérience de Posner où la rétention mnésique de l'information visuelle était correcte jusqu'à vingt secondes si le délai n'était pas occupé par une activité annexe. La tâche utilisée par Posner était une tâche de reproduction de mouvement ce qui explique peut-être cette contradiction. Dans une tâche par certains aspects plus proche de la nôtre, bien que requérant une locomotion vers une cible visuelle préalablement repérée, Thomson (1980) a montré que, si la rétention mnésique ne dépassait pas huit secondes, la localisation était bonne, mais qu'elle se dégradait par contre pour des intervalles plus longs. Thomson en déduisait que les positions dans l'espace étaient représentées dans une « carte » dont la durée de vie était de l'ordre de huit secondes, après lesquelles il devenait nécessaire de réactualiser cette représentation. Ce résultat a cependant été l'objet de controverses (Elliot, 1986, Steenhuis & Goodale, 1988). Nos propres résultats semblent suggérer au contraire que c'est pendant les huit premières secondes que la précision, en termes d'erreur directionnelle, se détériore le plus pour rester stable par la suite.

Modalité sensorielle et nature de l'erreur

La nature de l'erreur (distance ou direction) est en quelque manière liée au type d'informations sensorielles disponible au moment du positionnement de la cible. Ainsi, la vision paraît plus apte à coder la direction et les indices kinesthésiques à coder la distance. Curieusement, lorsque les deux types d'indices sont présents, la performance n'est pas optimale comme on aurait pu s'y attendre mais au contraire il semble que cette situation soit la moins favorable. Cela serait-il à mettre au compte d'un conflit intersensoriel entre vision et kinesthésie ?

En accord avec Posner, nos résultats suggèrent que le codage spatial des signaux proprioceptifs et visuels pourrait reposer sur deux mécanismes distincts. La vision pourrait être spécialement utilisée pour définir la direction dans laquelle se trouve un objectif alors que la kinesthésie pourrait plutôt servir à définir sa distance. Cela n'est probablement pas une loi absolue ; en effet la vision doit permettre de définir la distance à laquelle se trouve un point lorsque celui-ci n'est repéré que visuellement et, de la même façon, la

proprioception devrait permettre à elle seule de spécifier une direction. Il faut noter toutefois, lorsque la main doit être localisée en aveugle, c'est-à-dire uniquement grâce aux signaux kinesthésiques, que les informations visuelles données au préalable, bien qu'absentes au moment du repérage de la main, viennent interférer avec la position donnée par la kinesthésie (Velay *et al.,* 1989).

Le dualisme direction/amplitude pour l'organisation spatiale des mouvements dirigés semble s'imposer aujourd'hui. Il a été possible de montrer que les processus de programmation correspondant à ces deux paramètres sont décomposables en opérations séparées ayant chacune une durée mesurable. La programmation de la direction est semble-t-il plus coûteuse en temps que la programmation de l'amplitude (Bonnet *et al.,* 1982, Rosenbaum, 1980). Cette différenciation se manifeste assez tôt au cours de l'ontogenèse, la régulation de la direction paraissant plus précocement acquise que celle de l'amplitude (Bard *et al.,* 1990). Par ailleurs, des enregistrements de décharges unitaires de cellules corticales indiquent que des réseaux neuronaux distincts sont responsables du codage des différents paramètres du mouvement. La direction du mouvement serait notamment spécifiée par des neurones de l'aire 5 (McKay *et al.,* 1978) et également au niveau du cortex moteur (Schwartz *et al.,* 1988 ; Georgopoulos *et al.,* 1988). A ce niveau, les mouvements semblent bien représentés comme des vecteurs, chaque cellule codant grossièrement pour une gamme de directions données, il y aurait ensuite addition des décharges unitaires de telle sorte que la population reflète précisément la direction du mouvement dans l'espace. Par contre, on ne semble rencontrer que rarement des cellules présentant une décharge en relation avec l'amplitude du mouvement (Kettner *et al.,* 1988).

Dans le cas de l'expérience rapportée ici, il ne s'agit pas de la direction et de l'amplitude d'un mouvement, mais de la direction et de la distance d'un point relativement au corps. La représentation interne de l'espace pourrait, à l'instar du codage des mouvements, être construite sur la base d'une sorte de « carte » où chaque point serait représenté par sa direction et sa distance relativement à l'axe principal du corps. Dans l'établissement d'une telle représentation sensori-motrice de l'espace en coordonnées polaires, les informations visuelles, et plus précisément oculomotrices, pourraient définir la direction d'un point (l'angle relativement au droit devant) alors que les signaux liés aux mouvements des membres pourraient eux participer à la mesure de la distance à laquelle se trouve le point relativement à l'axe du corps. Ces considérations restent évidemment spéculatives et nécessitent de plus amples investigations.

D'un point de vue pratique, on peut difficilement laisser de côté l'importance des différentes sources d'information sensorielle dans l'exécution efficace d'un geste moteur. Puisque dans la majorité des gestes moteurs, l'information disponible provient surtout de trois modalités, le visuel, la proprioception et l'audition, il est important de connaître leur contribution respective et d'identifier la modalité qui saura fournir l'information la plus fiable et assurer l'exécution la plus efficace du geste. De ces trois modalités, la vision est souvent considérée comme la « reine » des sensations et, à ce titre, est appelée à remplir une fonction dominante. Pour cette raison, il arrive fréquemment que l'on ne tienne pas compte de l'information issue des autres sens même si celle-ci pourrait être plus utile dans l'exécution de certaines tâches motrices. Il se peut même qu'une trop grande confiance en une même source d'information vienne causer de l'interférence avec l'efficacité du geste. Les implications pratiques des résultats de la présente recherche, tant pour l'exécutant que pour l'intervenant, sont donc de reconnaître la contribution respective de la vision et de la proprioception à la programmation de la direction et de la distance dans un geste de pointage tout en respectant les contraintes temporelles de chacune d'elles. Pour l'intervenant, cela signifie une action délibérée auprès de l'exécutant afin de diriger son attention vers l'utilisation appropriée de ces deux modalités. Pour l'exécutant, cela signifie de se concentrer sur celles-ci afin d'obtenir l'information nécessaire et pertinente à la programmation efficace de son geste.

BIBLIOGRAPHIE

Adams J.A. & Dijkstra S., Short-term memory for motor responses. *Jl. Exp. Psych.,* 1966, 71, 314-318.

Adams J.A., Goetz E.T. & Marshall P.H., Response feedback and motor learning. *Jl. Exp. Psych.,* 1972, 92, 391-397.

Bard C, Hay L. & Fleury M., Timing and accuracy of visually directed movements in children: Control of direction and amplitude components. *Jl. Exp. Child Psych.,* 1990, in press.

Bonnet M., Requin J. & Stelmach G.E., Specification of direction and extent in motor programming. *Bull. Psychonom. Soc.,* 1982, 19, 31-34.

Eklund G., Position sense and state of contraction: The effects of vibration. *Jl. Neurol. Neurosurg. Psychiat.,* 1972, 35, 606-611.

Elliot D., Continuous visual information may be important after all: A failure to replicate Thomson (1983). *Jl. Exp. Psychol.,* 1986, 12(3), 388-391.

Georgopoulos A.P., Kettner R.E. & Schwartz A.B., Primate motor cortex and free arm movements to visual targets in three-dimensional space. II. Coding of the direction of movements by a neural population. *Jl. Neuroscience,* 1988, 8(8), 2928-2937.

Gibson J.J., *The senses considered as perceptual Systems.* Boston: Houghton Mifflin Company, 1966.

Hatwell Y., *Toucher l'espace.* Presses Universitaires de Lille, 1986.

Held R. & Hein A., Adaptation of disarranged hand-eye coordination contingent upon reafferent stimulation. *Percept. Motor Skills,* 1958, 8, 87-90.

Kettner R.E., Schwartz A.B. & Georgopoulos A.P., Primate motor cortex and free arm movements to visual targets in three-dimensional space. III. Positional gradients and population coding of movement direction from various movement origins. *Jl. Neuroscience,* 1988, 8(8), 2938-2947.

Levine M.S. & Lackner J.R., Some sensory and motor factors influencing the control and appreciation of eye and limb position. *Exp. Brain Res.*, 1979, 36, 275-283.

Paillard J., Espace et structure d'espace. In J. Paillard (Ed.), « La lecture sensorimotrice et cognitive de l'expérience spatiale. Directions et distances. » *Comportements,* 1985.

Paillard J. & Brouchon M., A proprioceptive contribution to the spatial encoding of position cues for ballistic movements. *Brain Research,* 1974, 71, 273-284.

Posner M.I., Characteristics of visual and kinesthetic memory codes. *Jl. Exp. Psych.,* 1967, 75, 103-107.

Rock I. & Harris C.S., Vision and touch. *Scientific American,* 1967, 216, 99-104.

Rosenbaum D.A., Human movement initiation: specification of arm, direction, and extent. *Jl. Exp. Psychol.,* 1980, 109, 444-474.

Schwartz A.B., Kettner R.E. & Georgopoulos A.P., Primate motor cortex and free arm movements to visual targets in three-dimensional space. I. Relation between single cell discharge and direction of movement. *J. Neuroscience,* 1988, 8(8), 2913-2927.

Steenhuis R.E. & Goodale M.A., The effects of time and distance on accuracy of target-directed locomotion : Does an accurate short-term memory for spatial location exist ? *J. Motor Behav.,* 1988, 20(4), 399-415.

Stelmach G.E., Prior organization in motor control. *J. Hum. Movement Studies,* 1977, 3, 157-168.

Thomson J.A., How do we use visual information to control locomotion ? *TINS,* 1980, 3, 247-250.

Velay J.L., Roll R. & Paillard J., Elbow position sense in man: contrasting results in matching and pointing. *Human Movement Science,* 1989, 8, 177-193.