

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE PRESENTE A
UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITE PHYSIQUE

PAR
LINE LEVESQUE

SUR LA SPECIFICITE DES SOURCES D'AFFERENCES
UTILISEES POUR LE CONTROLE DU MOUVEMENT DANS UNE TACHE
D'ATTEINTE

NOVEMBRE 1987

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Résumé

L'objet du présent mémoire est de déterminer si les sources d'afférences utilisées pendant la phase d'exécution d'une tâche d'atteinte manuelle se modifient en fonction du degré d'apprentissage du sujet ou si, au contraire, l'apprentissage qui prend place est spécifique aux sources d'afférences disponibles pendant cette phase. L'hypothèse principale est que l'apprentissage d'une tâche motrice est spécifique aux sources d'afférences disponibles lors de l'entraînement. Cette hypothèse serait confirmée s'il pouvait être démontré que l'addition d'une source significative d'information, lors d'une phase de transfert prenant place après un entraînement où cette source n'était pas disponible, conduit à une diminution significative de la performance.

Deux expériences ont été réalisées pour vérifier la validité de l'hypothèse proposée. Dans les deux cas, la tâche du sujet était de réaliser une tâche d'atteinte manuelle à l'aide de son bras non-dominant. La tâche d'atteinte était réalisée dans le plan sagittal et impliquait le déplacement d'un stylet sur une distance de 80 cm. De plus, le mouvement d'atteinte devait être réalisé en 550 ms. Dans chacune de ces expériences, il y a cinq phases expérimentales distinctes. Dans un premier temps, les sujets sont soumis à un pré-test qui sert à établir leur degré d'efficacité pour une situation expérimentale où ils ont la possibilité de voir la cible à atteindre et l'environnement dans lequel la tâche est réalisée (condition C + E). Les sujets sont ensuite soumis à 200 essais d'entraînement dans une condition expérimentale où seule la cible à atteindre est visible (condition C). La troisième phase consiste en un post-test qui est en tous points identiques au pré-test. La quatrième phase consiste à poursuivre l'entraînement pour 1000 essais. La cinquième phase reproduit le post-test réalisé après

200 essais d'entraînement. La principale différence qui existe entre les deux expériences a trait à l'utilisation d'une tâche plus complexe dans la deuxième expérience. Les sujets doivent alors réaliser la tâche d'atteinte alors que leur mouvement est mécaniquement perturbé en cours d'exécution.

L'efficacité des réponses des sujets est évaluée en fonction de leur précision spatiale et temporelle. L'erreur quadratique moyenne est l'indice retenu pour évaluer cette efficacité. La vérification expérimentale de l'hypothèse proposée est réalisée en comparant la performance obtenue lors de blocs d'essais réalisés dans la condition de vision complète (C+E); c'est-à-dire, lors du pré-test et de chacun des deux post-tests.

Les résultats obtenus dans ces deux expériences supportent l'hypothèse proposée et indiquent que la performance obtenue lors du pré-test est significativement supérieure à celle obtenue lors de chacun des deux post-tests. Il apparaît donc que les sources d'afférences disponibles lors de l'entraînement contribuent à former une représentation sensori-motrice de la tâche à accomplir qui est spécifique aux conditions qui prévalent lors de cet entraînement. Ces résultats corroborent donc ceux obtenus par Proteau et al (1987). L'ajout majeur que les présents résultats apportent est la démonstration que l'addition d'une source d'afférence, non-disponible lors de l'apprentissage, mène aux mêmes conclusions que le retrait de celle-ci suite à un long apprentissage où elle avait été disponible.

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, le docteur Luc Proteau du Département des sciences de l'activité physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières, qui par son enthousiasme, sa disponibilité et son assistance minutieuse, a su orienter mes travaux avec beaucoup de compétence.

J'adresse aussi des remerciements à messieurs Pierre Black et Claude Brouillette pour l'aide technique et professionnelle qu'ils ont su m'apporter. Sans leur collaboration la réalisation de la phase expérimentale de ce mémoire aurait été beaucoup plus difficile, voire impossible.

Enfin, je tiens également à remercier le Fonds F.C.A.R. pour l'appui financier dont j'ai bénéficié pendant la réalisation de mes travaux.

Table des matières

	page
Résumé	ii
Remerciements	iv
Liste des Tableaux	v
Liste des Figures	vi
Introduction	1
Expérience 1	14
Expérience 2	36
Discussion Générale	62
Références	66

Liste des Tableaux

Tableau	page
1. Les cinq phases de la première expérience	16
2. Le design expérimental de la deuxième expérience	40
3. Comparaison des résultats obtenus pour les axes x et y	49

Liste des Figures

Figure	page
1. Vue de l'appareillage, de la position de départ et de la trajectoire théorique du mouvement	16
2. Erreur quadratique moyenne en fonction de la séance expérimentale	20
3. Erreur quadratique expérimentale en fonction de la phase expérimentale ..	24
4. Erreur constante pour le temps de mouvement en fonction de la phase expérimentale	26
5. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale	29
6. Schéma du stylet utilisé dans la deuxième expérience	40
7. Erreur quadratique moyenne en fonction de la séance expérimentale et du type d'information disponible lors de l'apprentissage	43
8. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale et du type d'information disponible lors de l'apprentissage	47
9. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale et du type d'information disponible lors de l'apprentissage	53

INTRODUCTION

L'être humain bénéficie de possibilités motrices fascinantes. Un des défis importants de la recherche scientifique est de comprendre les diverses facettes de l'organisation motrice nécessaire pour réaliser plusieurs tâches différentes comme: parler, marcher ou toucher un objet. Les résultats obtenus dans de nombreux laboratoires ont permis de proposer diverses théories susceptibles de permettre l'explication des modes d'organisation et de contrôle utilisés lors de la réalisation d'une réponse motrice. De plus, certaines de ces théories reconnaissent explicitement que ce contrôle est, au moins partiellement, réalisé sur la base de plusieurs types d'information disponibles avant, pendant ou après le mouvement. Ces informations font références: (a) aux conditions initiales de l'environnement retrouvées avant l'amorce du mouvement, (b) à l'utilisation de réafférences proprioceptives et visuelles pendant l'exécution du mouvement, et (c) aux différentes sources de feedback disponibles après l'exécution du mouvement dont notamment, la connaissance du résultat (CR).

Parmi ces théories il faut plus particulièrement noter celle du schéma moteur développée par Schmidt (1975) où l'on reconnaît que le contrôle d'un geste quelconque implique une interaction entre des processus de planification centraux et des réafférences provenant de l'exécution de ce geste. Schmidt (1975) propose l'existence d'un processus de planification central basé sur l'idée d'un programme moteur. Toutefois, contrairement à Keele (1968), l'auteur ne propose pas l'existence d'un programme moteur unique pour chacun des mouvements susceptibles d'être réalisés par un individu. Schmidt (1975) propose plutôt l'existence de programmes moteurs généraux susceptibles d'être utilisés lors de la réalisation de toute une catégorie de

mouvements semblables. Par exemple, on pourrait proposer qu'une très large gamme de "lancers par-dessus l'épaule" sont issus d'un même programme moteur général, ou schéma moteur.

Ainsi, pour réussir à produire un mouvement particulier, l'être humain doit, au préalable, choisir le schéma moteur approprié. Le choix de ce schéma moteur serait réalisé en considérant, d'une part, les conditions initiales de réalisation et, d'autre part, le but visé. Une fois ce premier choix réalisé, l'individu doit quantifier chacun des paramètres de ce schéma moteur. Cette quantification résulte en un programme moteur spécifique qui, en fonction des conditions initiales de réalisation, est le mieux adapté pour permettre d'atteindre le but visé.

Plus l'individu aurait l'occasion de pratiquer une réponse donnée lorsqu'il bénéficie de la connaissance de la performance et de la connaissance du résultat, meilleur serait son apprentissage. Toutefois, pour qu'il y ait apprentissage, il faut qu'une amélioration durable de la performance soit obtenue (Salmoni, Schmidt et Walter, 1984). Il faut donc, par voie de conséquence, que l'individu puisse remiser les éléments importants de la situation à laquelle il faisait face et les caractéristiques de sa réponse. Schmidt (1975) propose que l'individu remise en mémoire quatre types d'information différentes, ce sont: (a) les conditions initiales, (b) les spécifications apportées à la réponse, (c) les conséquences sensorielles obtenues lors de l'exécution de la réponse et, (d) le résultat obtenu de cette exécution. Ces informations permettraient donc à l'individu de juger de l'à-propos de son choix de réponse. De plus, même si le but visé n'est pas atteint, ces informations lui permettraient: (a) de déterminer dans quelles circonstances la réponse qu'il a exécutée pourrait s'avérer

efficace et (b) d'anticiper les rétroactions qu'il devrait recevoir si le geste est réalisé tel que planifié.

Ainsi, lorsque l'individu fait face à une situation à laquelle il doit réagir en produisant une quelconque réponse motrice, il détermine en premier lieu le schéma moteur le mieux adapté pour permettre de répondre efficacement aux demandes de l'environnement. Les paramètres de ce schéma moteur sont ensuite quantifiés pour adapter le schéma moteur à la situation particulière à laquelle il fait face. Il s'agit alors d'un programme moteur spécifique. En même temps qu'est élaboré ce programme moteur spécifique, l'individu détermine les conséquences sensorielles attendues de l'exécution de sa réponse. Une fois ces étapes franchies, l'individu est à même d'amorcer la réponse qu'il a planifiée. L'exécution de la réponse motrice procure à l'individu des informations proprioceptives et extéroceptives ayant trait au déroulement de celle-ci. Ces conséquences sensorielles obtenues sont comparées aux conséquences sensorielles attendues. Le résultat de cette comparaison peut être de trois ordres différents. Premièrement, les conséquences sensorielles obtenues peuvent être identiques aux conséquences sensorielles attendues. Le geste aura donc été réalisé tel que planifié et la réponse sera complétée sans modification. Deuxièmement, une petite disparité peut être décelée entre les conséquences sensorielles attendues et les conséquences sensorielles obtenues. Il s'agit alors d'une erreur d'exécution qui pourra être corrigée inconsciemment sur la base d'activités réflexes segmentaires ou supra-segmentaires (Schmidt, 1982). Ces corrections devraient permettre de faire correspondre les conséquences sensorielles attendues aux conséquences sensorielles obtenues. Finalement, une grande disparité peut être décelée entre les conséquences sensorielles attendues et les conséquences sensorielles obtenues. Il s'agit alors d'une

erreur dans la sélection du programme et les corrections réflexes ne seront pas suffisantes pour éliminer cette erreur. Si l'individu a beaucoup de temps pour réaliser son geste, un nouveau programme moteur spécifique pourra être élaboré. Par contre, si le temps disponible n'est pas suffisant, la correction nécessaire ne pourra pas prendre place et la réponse produite rencontrera plus ou moins les attentes de l'individu.

Tel que vu précédemment, les conséquences sensorielles obtenues et les conséquences sensorielles attendues sont utilisées dans tous les cas pour renforcer ou modifier le schéma moteur et la quantification des différents paramètres. Il est, par ailleurs, important de spécifier que le fait que les conséquences sensorielles attendues et obtenues soient semblables ne signifie pas que le résultat de l'exécution sera de bonne qualité. Toutefois, l'individu saura que la réponse a été produite telle que planifiée. C'est la connaissance du résultat qui sert à déterminer la qualité de la réponse motrice produite. Ainsi, si le but visé est atteint et que les conséquences sensorielles attendues et obtenues sont semblables, l'individu sera encouragé à utiliser le même programme moteur spécifique si des conditions initiales identiques sont de nouveau rencontrées. Au contraire, si le but visé n'est pas atteint, l'individu lors de circonstances semblables, utilisera un nouveau programme moteur spécifique ou même un nouveau schéma moteur, et ce, même si la réponse produite avait été exécutée telle que planifiée.

Keele (1981) suggère lui aussi l'idée d'un programme moteur généralisé. Il propose que chaque variation d'un mouvement n'implique pas nécessairement un programme moteur complètement différent. De fait, il reconnaît avec Schmidt (1975, 1982) qu'il peut y avoir plus de variabilité dans la production de la réponse qu'au niveau des programmes. Donc, selon Keele (1981), une partie d'un programme

moteur peut être modifiée pour permettre de répondre aux exigences de l'environnement alors qu'une autre partie demeure constante.

En 1968, Keele définissait le programme moteur comme une représentation centrale du mouvement pouvant conduire à la réalisation de celui-ci en l'absence de réafférences. Cette position s'est récemment modifiée (1981, 1986) et l'auteur reconnaît qu'il est plausible que les réafférences soient essentielles à l'exécution correcte d'une réponse motrice. Ces réafférences seraient cependant sous le contrôle du programme moteur qui spécifierait quand et comment les utiliser.

Globalement, les idées développées par Schmidt (1975) et par Keele (1981) laissent voir que l'information disponible à l'individu avant l'exécution de son geste, de même que les réafférences disponibles pendant cette exécution, et la CR qui est disponible après celle-ci, peuvent avoir un grand rôle à jouer dans le contrôle du mouvement. Considérant ces propositions, il devient important d'éclaircir certains points particuliers concernant l'information utilisée pendant ces trois phases du mouvement. L'objet particulier du présent mémoire a trait à la deuxième de ces phases. De façon plus spécifique, il s'agit de déterminer si le type d'information utilisé pendant cette phase se modifie en fonction du degré d'apprentissage du sujet ou si, au contraire, l'apprentissage qui a pris place est spécifique au type d'information présent durant l'apprentissage. La prochaine section a pour objet de synthétiser les résultats disponibles à ce jour sur le thème d'intérêt.

L'importance relative des réafférences en fonction du degré d'apprentissage

A ce jour, quelques chercheurs ont proposé que le but de l'apprenant devant réaliser une tâche motrice quelconque était de devenir indépendant des réafférences

susceptibles de prendre place. Ainsi, MacNeilage et MacNeilage (1973) proposaient: "The *need* for peripheral sensory feedback can be thought of as inversely proportional to the ability of the central nervous system to predictively determine ... every essential aspect of the following acts" (p. 424). Un peu plus tard, Schmidt (1975) renchérisait et proposait: "Because of the lags in processing feedback, the subject becomes less and less dependent upon feedback for performance, and the emphasis shifts from feedback-controlled, jerky performances to the smooth execution of almost completely open-loop movements" (p. 233). Il faut cependant ajouter que, tel que précisé précédemment, Schmidt (1975) reconnaît l'existence de corrections réflexes. Toutefois, encore en 1982, il continuait de proposer qu'avec la pratique le besoin de traiter l'information afférente provenant de l'exécution du mouvement diminuait.

Utilisation d'une tâche de positionnement linéaire

Adams, Gopher et Lintern (1977) étudièrent la contribution des informations provenant de la proprioception et de la vision pour la réalisation d'une tâche de positionnement linéaire. Dans cette étude, les sujets apprenaient un mouvement de positionnement linéaire de 20.3 cm. Certains sujets bénéficiaient de 15 essais de pratique en présence de CR alors que d'autres bénéficiaient de 150 essais de pratique aussi en présence de CR. La qualité des afférences visuelles et proprioceptives était manipulée dans cette étude. Les conditions de feedback étaient soit "augmentées" ou "minimales". De façon plus spécifique, le feedback visuel était "augmenté", lorsque le sujet pouvait voir l'appareillage et son mouvement. Il était "minimum" lorsque les indices visuels étaient absents (sans vision). Le feedback proprioceptif était "augmenté" lorsqu'un ressort était attaché au curseur que le sujet devait déplacer et "minimum" lorsque la tension du ressort était moindre. Lors de la période d'apprentissage, les

sujets avaient une, deux ou aucune des sources de feedback (visuelle ou proprioceptive) "augmentées". Une phase de transfert de 50 essais suivait la période d'apprentissage. Pour certains sujets, les conditions de feedback utilisées lors de l'entraînement étaient conservées identiques lors de la phase de transfert; la CR n'était cependant plus disponible. Ainsi, lors de la tâche de transfert, les sujets devaient exécuter la tâche dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles ils s'étaient entraînés à l'exception du retrait de la CR. Pour d'autres sujets, les sources de feedback disponibles lors de la tâche de transfert étaient différentes de celles retrouvées lors de la période de pratique. Ainsi, les sujets qui s'étaient entraînés avec les deux sources de feedback augmentées devaient réaliser la tâche alors qu'une ou ces deux sources de feedback étaient retirées lors de la tâche de transfert. Encore une fois la CR était elle aussi retirée lors de la tâche de transfert.

Certaines comparaisons sont plus importantes dans le cadre du présent mémoire. Il s'agissait de comparer la performance de transfert obtenue pour les sujets qui ont réalisé leur tâche de transfert dans les mêmes conditions que celles retrouvées lors de l'entraînement avec la performance obtenue par les sujets qui s'étaient vus retirés une ou les deux sources de feedback lors de la tâche de transfert. Les conditions expérimentales retrouvées lors de la tâche de transfert étaient donc identiques dans les deux cas. Les résultats de ces comparaisons laissent voir que les sujets qui ont réalisé la tâche de transfert dans des conditions identiques à celles retrouvées lors de la phase d'acquisition obtenaient une meilleure performance que ceux qui avaient bénéficié d'une source de feedback augmentée lors de cette phase. Ainsi, les sujets qui ont bénéficié de 15 essais d'acquisition et d'une source de feedback visuel augmenté lors de cette phase ont obtenu une performance inférieure de 33% à ceux dont l'acquisition se faisait

en condition de feedback visuel minimal. Lorsque les deux sources de feedback étaient augmentées lors de la phase d'acquisition, on note une performance inférieure de 15% à celle obtenue par les sujets qui avaient bénéficiés de feedback minimal pour les deux sources d'intérêt. Des tendances beaucoup plus marquées sont notées pour les sujets qui avaient bénéficié de 150 essais d'acquisition. Ainsi, les différences notées précédemment deviennent respectivement de 95% et de 97%.

Ces résultats indiquent que la performance lors de la phase de transfert est meilleure lorsque les conditions retrouvées dans cette tâche de transfert se rapprochent de celles retrouvées lors de la phase d'acquisition. Il semblerait donc y avoir une très haute spécificité de l'apprentissage. Par ailleurs, cette spécificité semble être d'autant plus marquée que le niveau d'apprentissage atteint est élevée. Ces résultats semblent donc aller directement contre les propositions de MacNeilage et MacNeilage (1973) et de Schmidt (1975) qui proposaient le passage à un mode de contrôle en boucle ouverte tard dans l'apprentissage. On peut toutefois se demander ce qui se serait passé si les sujets avaient bénéficié d'un plus grand nombre d'essais durant l'apprentissage.

Utilisation d'une tâche d'atteinte manuelle

Une amorce de réponse à la question précédente nous est donnée dans une étude très récente (Proteau, Marteniuk, Girouard & Dugas, 1987). La tâche utilisée dans cette étude était une tâche d'atteinte manuelle dans laquelle les sujets devaient réaliser le déplacement d'un stylet dans le plan sagittal sur une distance de 90 cm. Ce déplacement devait se faire en 550 ms et la réponse des sujets devait être aussi précise que possible, et ce, aussi bien au niveau spatial qu'au niveau temporel. Il est bon de noter que cette durée de TM laissait amplement de temps aux sujets pour utiliser

l'information visuelle disponible pour guider leur mouvement (Bard, Hay & Fleury, 1985; Carlton, 1981a; Smith & Bowen, 1980; Zelaznik, Hawkins & Kisselburgh, 1983). Les deux variables indépendantes utilisées dans cette étude étaient le nombre d'essais d'entraînement dont les sujets avaient bénéficié et le type d'information disponible lors de la période d'acquisition. Ainsi, deux groupes de sujets bénéficiaient de 200 essais d'acquisition alors que deux autres groupes bénéficiaient de 2000 essais d'acquisition. Après chacun de ces essais le sujet était informé de la précision spatiale de sa réponse et aussi de son TM lorsque celui ci était inférieur ou supérieur de 5% au TM critère. Pour chacun des deux niveaux d'entraînement, il y avait un groupe de sujets ($n = 5$) qui réalisait la tâche expérimentale sans aucune restriction visuelle. Ainsi, la cible à atteindre de même que l'exécution de la réponse étaient disponibles visuellement (conditions C+E). Les sujets du deuxième groupe, eux, ne bénéficiaient que de la vision de la cible à atteindre (conditions C). Ainsi, ils ne disposaient d'aucune information visuelle quant au déroulement de leur mouvement. Finalement, suite à la phase d'acquisition, les sujets des quatre groupes étaient soumis à une tâche de transfert réalisée sous la condition C. La CR n'était cependant pas disponible ni pour l'erreur spatiale, ni pour l'erreur temporelle, et ce, pour aucun des quatre groupes.

Les résultats de cette étude indiquent que, lors de la phase d'acquisition, la vision du membre qui exécute la tâche a toujours permis d'obtenir une précision spatiale significativement meilleure que la seule vision de la cible à atteindre. Ces résultats corroboraient ceux obtenus par Carlton (1981b) et par Hay et Beaubaton (1985, 1986)¹. Ils indiquaient aussi que la vision du membre qui exécute la tâche demeurait

¹Il a récemment été démontré (Goodale, Pélisson & Prablanc, 1987; Pélisson, Prablanc, Goodale & Jeannerod, 1986) que des corrections à un mouvement d'atteinte

très importante même après un très long apprentissage. Les résultats de la tâche de transfert sont cependant plus intéressants dans le cadre du présent mémoire. Ces résultats indiquent que les sujets s'étant entraînés dans la condition C+E ont subi de très fortes détériorations de leur performance lors du passage à la tâche de transfert. Après 200 essais d'entraînement, on note une détérioration de la performance de 100% pour les sujets du groupe C+E alors que la détérioration de la performance n'était que de 67% pour les sujets du groupe C. Cette tendance est cependant beaucoup plus marquée pour les sujets qui avaient bénéficiés de 2000 essais d'entraînement. Ainsi, le passage à la tâche de transfert n'affecta nullement la performance des sujets du groupe C. Toutefois, la performance des sujets du groupe C+E se détériora de 400%. Il semblerait donc que l'importance de l'information visuelle ne diminuerait pas en fonction du degré d'apprentissage. Un autre aspect des résultats obtenus par Proteau et al (1987) supporte cette proposition. En effet, lorsque l'on regarde la performance obtenue lors de la tâche de transfert pour les groupes C+E, on note qu'en termes absolus cette erreur est plus grande pour les sujets qui avaient bénéficié de 2000 essais de pratique.

Les résultats obtenus par Proteau et al (1987) supportent donc entièrement ceux qui ont pu être recalculés à partir des résultats présentés par Adams et al (1977). Il semblerait donc que, tel qu'il fut proposé précédemment, l'apprentissage d'une tâche ne signifie pas que l'on passe d'un certain type de contrôle à un autre type de contrôle

pouvaient être produites même lorsque la vision du membre qui exécute la tâche n'est pas visible. Ces résultats ne sont pas vraiment en contradiction avec ceux présentés par Carlton (1981b) et Hay et Beaubaton (1985, 1986) puisque les premiers auteurs n'ont pas inclus de condition expérimentale dans laquelle les sujets voyaient le déplacement de leur bras. On peut supposer que les résultats d'une telle condition expérimentale auraient laissé voir une meilleure précision que celle rapportée alors que seule la vision de la cible était disponible.

où que la nature des informations utilisées se modifie en fonction du degré d'apprentissage. Au contraire, il apparaît plutôt que lors de l'apprentissage, l'individu apprend à utiliser de façon optimale les multiples sources d'information qui sont disponibles. De fait, on pourrait proposer que ces différentes sources d'information deviennent de mieux en mieux intégrées à l'intérieur d'une représentation spécifique du mouvement. Par conséquent, le retrait de l'une des sources d'information disponibles rendrait la réalisation du mouvement difficile.

Rationnel du présent mémoire

En prenant connaissance de la documentation scientifique pertinente, il apparaît clairement que l'information visuelle est très utilisée pour le guidage d'un mouvement (Adams *et al.*, 1977; Proteau *et al.*, 1987; Smyth, 1977, 1978). De plus, cette information peut être utilisée relativement rapidement (Bard, Hay & Fleury, 1985; Carlton, 1981a; Smith & Bowen, 1980; Zelaznik, Hawkins & Kisselburgh, 1983). Par ailleurs, il semble aussi que dans la majorité des circonstances, elle domine l'information provenant de la proprioception (Adams *et al.* 1977; Smyth, 1977, 1978), et ce, même lorsque le niveau d'entraînement augmente (Proteau *et al.*, 1987).

Lors d'un entraînement où la vision du membre qui exécute la tâche n'est pas disponible, l'individu doit utiliser d'autres sources d'information pour guider son geste dont, notamment, celle provenant de la proprioception. Par conséquent, avec la pratique, l'individu aurait toutes les chances d'acquérir une bonne performance lors de l'exécution de son mouvement, puisqu'il apprendrait à utiliser efficacement les informations proprioceptives. Après un long apprentissage dans une telle situation, alors que l'information proprioceptive est utilisée efficacement, que se passerait-il si la

vision du geste à produire devenait possible? Est-ce que l'individu modifierait son mode de contrôle pour privilégier l'intégration de l'information visuelle?

Cette question est intéressante parce que, si tel était le cas, cela indiquerait que peu importe le niveau d'apprentissage, la vision est utilisée lorsqu'elle est disponible. Par conséquent, l'un des objectifs de ce mémoire est de vérifier, dans une condition de type C+E qui prendrait place suite à un long apprentissage en condition C, si le feedback visuel mène à l'obtention d'une meilleure performance. Trois types de résultats sont susceptibles de se présenter. Premièrement, le passage de la condition C à la condition C+E pourrait conduire à une amélioration de la performance, suggérant que la vision est utilisée et aide le sujet à être plus précis. Le second type de résultats possibles est le maintien de la performance obtenue pour la condition C. De tels résultats pourraient signifier que la vision est utilisée mais qu'elle n'aide pas à raffiner le mouvement ou encore que la vision n'est tout simplement pas utilisée. La dernière alternative est une dégradation de la performance lors du passage de la condition C à la condition C+E. De tels résultats signifieraient que la vision est utilisée et que, de plus, elle nuit à la performance de l'individu.

En se basant sur les résultats rapportés par Proteau et al (1987), il apparaît que la première alternative est la plus plausible. Ainsi, la première hypothèse du présent mémoire propose qu'une amélioration marquée de la performance devrait être notée lors du passage de la condition C à la condition C+E. De tels résultats signifieraient que le sujet utilise dès qu'elle est disponible l'information visuelle provenant de l'exécution de son geste et que cette information l'aide à améliorer significativement sa performance.

L'aspect majeur de ce mémoire est cependant lié à une autre problématique. Les résultats issus des travaux de Adams et al (1977) et ceux présentés par Proteau et al (1987) laissent supposer que l'apprentissage d'une tâche motrice est quelque chose de très spécifique. De fait, Proteau, Marteniuk et Lévesque (1987) ont récemment proposé que la nature même de l'apprentissage était de fait "l'apprentissage à intégrer à l'intérieur d'une représentation abstraite du mouvement et à utiliser efficacement l'information provenant de toutes les sources d'information disponibles". Ainsi, lorsqu'une des sources d'information disponible lors du développement de la représentation abstraite du mouvement est retirée, la performance diminue significativement parce que l'individu n'a plus accès (ou a un accès très limité) à cette représentation abstraite du mouvement qui a été développée lors de l'apprentissage. Cette vue de l'apprentissage conduit donc à la conclusion que l'apprentissage est spécifique aux conditions environnementales disponibles lors de l'entraînement.

L'objectif principal du présent mémoire est de vérifier les hypothèses émises par Proteau, Marteniuk et Lévesque (1987). De fait, si l'apprentissage d'une tâche motrice est aussi spécifique que ce qui est proposé par ces auteurs, il devrait pouvoir être démontré que l'addition d'une source significative d'information lors d'une phase de transfert prenant place après un apprentissage où cette source n'était pas disponible, conduit aux mêmes conclusions que lorsque cette source d'information est retirée lors de la phase de transfert. Ainsi, on s'attendrait donc à une diminution significative de la performance. L'hypothèse principale de ce mémoire propose que l'ajout d'une source de feedback significative, suite à un entraînement où cette source de feedback n'était pas disponible, conduira à une baisse de la performance.

La vérification expérimentale de cette hypothèse est réalisée en comparant la performance obtenue lors de blocs d'essais réalisés dans la condition C+E. Ces données d'intérêt sont obtenues pour des essais réalisés avant (pré-test) et après (post-test) une période d'apprentissage en condition C. L'hypothèse serait supportée si la performance obtenue au post-test, c'est-à-dire suite à un long apprentissage en condition C, était significativement inférieure à celle retrouvée lors du pré-test. La vérification expérimentale de cette hypothèse supporterait la récente proposition de Proteau, Marteniuk et Lévesque (1987).

EXPERIENCE 1

Méthodologie

Sujets

Les seize sujets (8 femmes et 8 hommes) qui participent à cette étude sont tous droitiers et étudiants au département des sciences de l'activité physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Chaque sujet participe à six sessions expérimentales et est rémunéré vingt-cinq dollars pour sa participation.

Tâche des sujets

La tâche du sujet est identique à celle utilisée par Proteau et al (1987) et consiste à atteindre une cible placée devant lui à l'aide d'un stylet tenu par la main gauche. Le mouvement implique un déplacement du stylet d'environ 80 cm dans le plan sagittal et doit être réalisé en 550 ms. Lorsque le temps de mouvement des sujets était moindre que 490 ms ou plus grand que 610 ms, le résultat obtenu n'était pas retenu. Toutefois, l'essai n'était pas repris. En tenant compte de cette restriction sur le temps de mouvement, le sujet doit compléter sa réponse le plus précisément possible.

Appareillage

L'appareillage est illustré à la Figure 1. Il est composé de cinq éléments: (a) un signal préparatoire, (b) un stylet, (c), une cible à atteindre, (d) un interrupteur et (e) un micro-ordinateur Apple 2e.

Dans sa position de départ, le sujet est assis face à la cible et place le stylet dans l'interrupteur situé à sa gauche (la distance entre la cible et l'interrupteur est maintenue constante à 80 cm). Lorsque le stylet est en contact avec l'interrupteur, le bras du sujet est en extension et forme un angle d'environ 30 degrés avec son corps. Une fois le stylet dans l'interrupteur, un signal préparatoire est activé. Il indique au sujet qu'il peut, lorsqu'il le désire, amorcer son mouvement vers la cible. Le voyant servant à la présentation de ce signal est situé en face du sujet et à 20 cm au dessus de la cible à atteindre. Cette cible est constituée d'une diode (diamètre=0.5 mm) placée au centre d'une plaque (25 x 25 cm) recouverte d'un papier résistif noir. Ce papier (Teledeltos Recording Paper, Western Union Telegraph, modèle 1-62s.) sert à déterminer où, sur l'axe des x et des y, le stylet atteint la cible. Les coordonnées du point d'impact du stylet sont relevées au millimètre près via un convertisseur analogique à numérique, 8 bits. Un micro-ordinateur Apple 2e est utilisé pour contrôler le déroulement de l'expérimentation. De façon plus spécifique, le micro-ordinateur détermine l'activation du signal préparatoire et sert à recueillir, pour chaque essai, le temps de mouvement et la précision spatiale de la réponse (sur les axes x et y).

Procédure

Dans cette expérience chaque sujet réalise 1200 essais d'entraînement en condition C, répartis en six sessions expérimentales. Six blocs d'essais sont aussi réalisés en

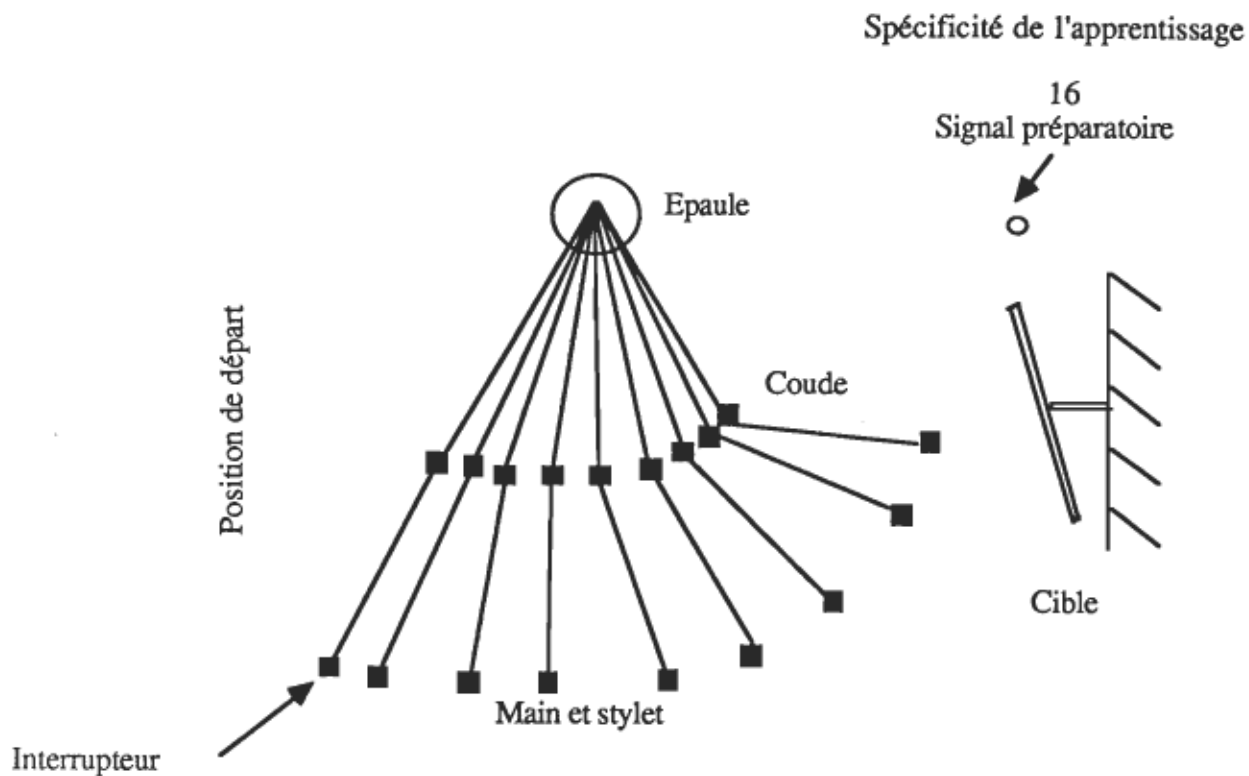


Figure 1. Vue de l'appareillage, de la position de départ et de la trajectoire théorique du mouvement.

Pré-test	Entraînement	Post-test 1	Entraînement	Post-test 2
20 essais dans la condition C+E	200 essais dans la condition C	20 essais dans la condition C+E	1000 essais dans la condition C	20 essais dans la condition C+E
La connaissance du résultat est disponible dans toutes les phases expérimentales, et ce, autant pour l'erreur temporelle (en ms) que l'erreur spatiale (en mm) sur les deux axes du mouvement.				

Tableau 1. Les cinq phases de la première expérience.

condition C+E. Chacun de ces blocs compte 10 essais expérimentaux. Deux de ces blocs sont réalisés au tout début de l'expérimentation lors d'une phase de pré-test. Ce pré-test sert à établir la performance du sujet, avant l'entraînement, dans la condition C+E. Deux blocs sont insérés après 200 essais d'entraînement dans la condition C (c'est le post-test 1), alors que les deux derniers blocs sont réalisés après 1200 essais d'entraînement dans la condition C (c'est le post-test 2), soit à la fin de l'expérimentation. Après chaque essai, peu importe qu'il s'agisse du pré-test, de l'entraînement ou de l'un ou l'autre des post-tests, le sujet est informé de la précision temporelle (en ms) et spatiale (en mm, pour chacun des deux axes) de son mouvement. Le design expérimental utilisé dans cette expérience est illustré au Tableau 1.

Résultats

Etant donné que l'erreur quadratique moyenne (EQM) est considérée comme une bonne mesure globale de la performance de précision (Henry, 1975), celle-ci est donc la principale variable dépendante utilisée dans cette étude. Les différentes analyses statistiques ont donc été calculées en utilisant l'EQM, autant pour la précision temporelle (TM) que pour les mesures de précision spatiale (les axes x et y).

La section de l'analyse des résultats est divisée en trois parties principales. Les résultats concernant les essais de la phase d'acquisition sont présentés en premier lieu. Cette première série d'analyses est présentée dans le but de déterminer si l'entraînement dont les sujets ont bénéficié a permis un apprentissage effectif de la tâche. Dans un deuxième temps, les résultats obtenus lors de la réalisation de la tâche de transfert sont comparés à ceux obtenus lors de la phase d'acquisition. Ces analyses ont pour but de

permettre de déterminer l'influence exercée par l'addition de la vision du membre qui exécutait le mouvement d'atteinte. Finalement, les résultats des performances obtenues lors du pré-test sont comparées à celles obtenues lors des deux phases de transfert. Ces deux phases de transfert, qui prenaient respectivement place après 200 essais et 1200 essais d'entraînement, sont identifiées ci-après dans le texte par les vocables: post-test 1 et post-test 2 respectivement. Cette série d'analyses est réalisée dans le but de déterminer si l'apprentissage d'une tâche, alors que seule la cible est visuellement disponible, a pu aider à la performance de la même tâche alors que la vision du membre et de la cible sont disponibles (situation de vision complète).

Les trois séries d'analyses décrites ci-haut ont été calculées suite à une transformation logarithmique [$\ln(x)$] des données originales. Cette procédure visait à rencontrer les conditions d'application de l'analyse de la variance (i.e. distribution normale des données; Winer, 1971).

Phase d'acquisition

Les analyses statistiques réalisées dans cette section avaient pour objectif de comparer la performance moyenne obtenue lors de chacune des six sessions expérimentales auxquelles se sont présentés les sujets. Les résultats ont donc été soumis à une analyse de la variance à un seul facteur comportant six niveaux et utilisant des mesures répétées.

Précision sur le temps de mouvement

Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif de la séance expérimentale, $F(5,75) = 19.04$, $p < .05$. Les moyennes obtenues pour chaque session expérimentale ont été comparées en utilisant la technique de Newman-Keuls (p

$<.05$)². Les résultats de cette analyse indiquent que la performance obtenue lors de la première séance expérimentale (33 ms) est significativement inférieure à celles obtenues lors des cinq séances suivantes qui, elles, ne sont pas significativement différentes les unes des autres (27.6 ms). Malgré l'absence d'une différence significative entre les résultats obtenus pour les cinq dernières séances expérimentales, on peut cependant remarquer à la Figure 2a que l'EQM diminuait légèrement à mesure que le nombre de séances expérimentales augmentait. La seule exception à cette tendance concerne la dernière séance expérimentale où une détérioration de la performance est notée.

Précision sur l'axe des x

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 2b. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif de la séance expérimentale, $F(5, 75) = 4.69$, $p < .05$. La comparaison des moyennes indique que la performance obtenue à la sixième séance est supérieure (12.3 mm) à celle obtenue aux séances deux et trois (15.1 mm). Ce sont là les seules différences trouvées significatives. En analysant la Figure 2b il apparaît cependant que la performance obtenue lors des trois dernières séances expérimentales (moyenne de 13.1 mm) semble meilleure que celle obtenue lors des trois premières séances expérimentales (moyenne de 15.0 mm). Afin de vérifier cette possibilité les résultats moyens obtenus pour chacun de ces deux ensembles ont été comparés en utilisant des contrastes orthogonaux non-planifiés. Les résultats de cette analyse secondaire n'indiquent cependant qu'une tendance vers l'effet escompté, $F(5, 15) = 2.42$, $p = .08$.

²La technique de Newman-Keuls ($p < .05$) est utilisée pour toutes les comparaisons a posteriori de ce mémoire. Afin d'alléger le texte, il n'en sera plus fait mention.

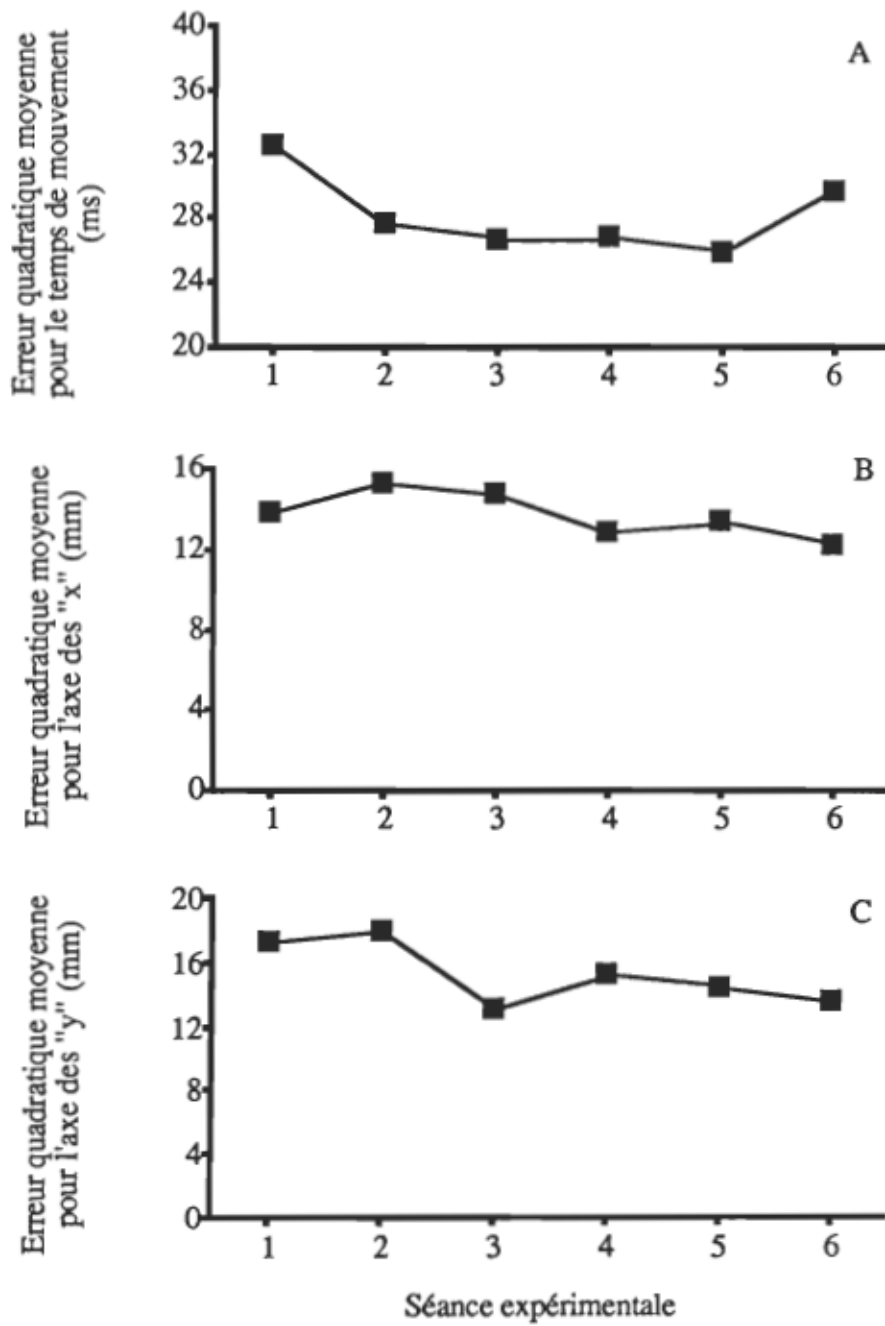


Figure 2. Erreur quadratique moyenne en fonction de la séance expérimentale.

Précision sur l'axe des y

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 2c. Les résultats de l'analyse de la variance ne laissent voir aucun effet significatif, $F(5, 75) = 2.28$, $p = .054$. En analysant la Figure 2c, nous pouvons remarquer que la performance obtenue à la première (17.6 mm) ainsi qu'à la deuxième séance expérimentale (18.4 mm) est moins bonne que celle obtenue dans les séances suivantes (en moyenne 14.9 mm). Cette possibilité a été vérifiée en calculant des contrastes orthogonaux non-planifiés. Les résultats de cette analyse secondaire indiquent que la performance est effectivement moins bonne lors des deux premières séances expérimentales que lors des séances suivantes, $F(5, 15) = 3.09$, $p < .05$.

Résumé

Bien que les résultats indiquent qu'un certain apprentissage a effectivement pris place, l'effet observé est moindre que celui escompté. En effet, des tendances vers une amélioration de la performance ont été notées. Toutefois, les résultats des différentes analyses statistiques ne supportent pas entièrement les hypothèses proposées. Une raison probable qui peut être invoquée a trait au niveau de performance atteint par les sujets. En effet, la performance obtenue par ceux-ci était très bonne, et ce, dès la première session expérimentale. Il se peut donc qu'il ait été très difficile d'améliorer celle-ci de façon marquée. L'utilisation d'une tâche expérimentale plus exigeante serait à considérer dans le futur.

Résultats de transfert

Dans cette section, les résultats obtenus ont été soumis à des analyses de la variance de type $P \times Q \times R$ en utilisant des mesures répétées sur tous les facteurs. Le

premier facteur était le niveau d'entraînement et comptait deux niveaux (200 essais et 1200 essais). Le second facteur avait trait à la phase expérimentale et comptait deux niveaux (acquisition et transfert). Le troisième niveau avait trait au bloc d'essais analysés et comptait aussi deux niveaux (bloc 1 et bloc 2). Chacun de ces blocs comptait 10 essais. Les blocs retenus pour la phase d'acquisition étaient ceux qui avaient tout juste précédés le début de la phase de transfert (Proteau et al., 1987).

Précision sur le temps de mouvement

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 3a. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif du niveau d'entraînement, $F(1,15) = 15.00$, $p < .05$ et de la phase expérimentale, $F(1,15) = 103.46$, $p < .05$. Aucun autre effet n'a été trouvé significatif. Ces résultats indiquent, d'une part, que la performance obtenue suite à 1200 essais de pratique est meilleure (32.5 ms) que celle obtenue suite à 200 essais de pratique (39.2 ms). D'autre part, le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert entraîna une forte détérioration de la précision temporelle du mouvement. Les moyennes des résultats obtenus lors de ces deux phases expérimentales sont respectivement de 26.8 ms et de 44.9 ms.

Précision sur l'axe des x

Les résultats obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 3b. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif de la phase expérimentale, $F(1,15) = 157.82$, $p < .05$. C'est là le seul résultat trouvé significatif. Cet effet indique qu'il y a eu une forte amélioration de la performance lors du passage

de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Les résultats moyens obtenus pour ces deux phases expérimentales sont respectivement de 12.4 mm et de 5.9 mm.

Précision sur l'axe des y

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 3c. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir des effets significatifs du niveau d'entraînement, $F(1,15) = 7.79$, $p < .05$, de la phase expérimentale, $F(1,15) = 92.76$, $p < .05$, du bloc d'essais, $F(1,15) = 4.85$, $p < .05$ et, finalement, un effet d'interaction significatif entre le niveau d'entraînement et la phase expérimentale, $F(1,15) = 4.84$, $p < .05$.

L'effet significatif du bloc d'essais indique que la performance était meilleure au second bloc qu'au premier bloc d'essais. Les moyennes obtenues sont respectivement de 10.46 mm et de 11.24 mm. A cause du but de cette étude, l'effet d'interaction qui a pris place entre le niveau d'entraînement et la phase expérimentale a été décomposé en ses effets simples. Les résultats de cette décomposition et une analyse de la Figure 3c indiquent que, peu importe le niveau de pratique, la performance était significativement inférieure lors de la phase d'acquisition que lors de la phase de transfert. Les moyennes obtenues sont respectivement de 15.3 mm et de 7.76 mm. Cependant, l'effet de pratique est trouvé significatif lors de la phase d'acquisition, $F(1, 15) = 10.01$, $p < .05$, indiquant une meilleure performance après 1200 essais (13.14 mm) que 200 essais (17.44 mm) de pratique, alors que cet effet de pratique n'est pas retrouvé significatif lors de la phase de transfert, $F(1, 15) = 1.23$, $p > .10$. Les résultats moyens obtenus lors de la phase de transfert sont respectivement de 8.06 mm et de 7.45 mm après 200 essais et 1200 essais de pratique.

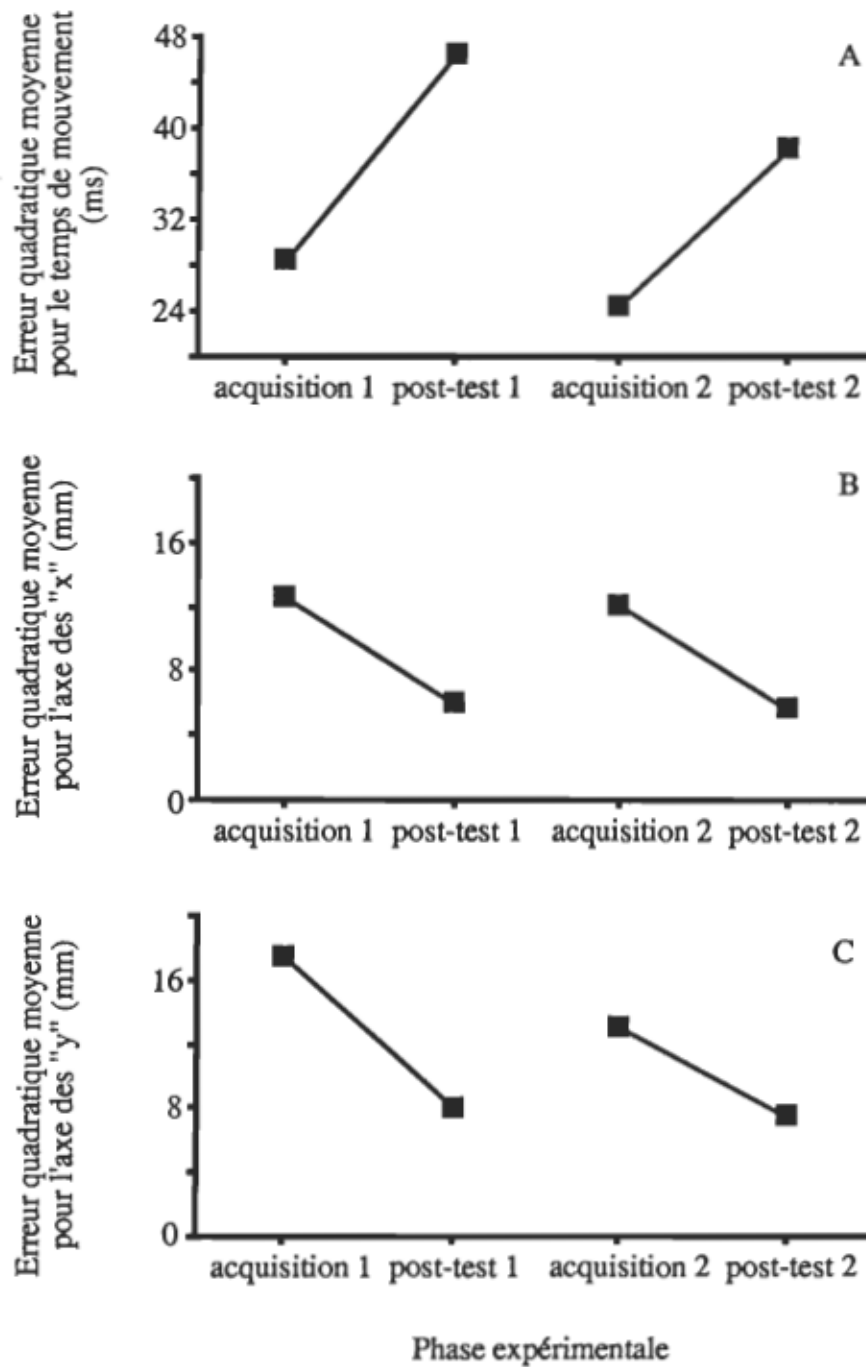


Figure 3. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale.

Compromis potentiel vitesse-précision

Les résultats présentés dans les sections qui précèdent laissent voir une grosse détérioration du temps de mouvement lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Au contraire, en ce qui concerne la précision spatiale des réponses (axes x et y), on note plutôt une forte amélioration de la performance lorsque la vision du membre qui exécute la réponse motrice est permise. Ces résultats peuvent avoir été causés suite à un compromis prenant place entre la vitesse de mouvement et la précision spatiale de celui-ci. Dans le but de vérifier cette possibilité, les résultats de l'erreur constante de TM ont été soumis au même type d'analyse de la variance que ceux obtenus pour l'EQM. L'hypothèse d'un compromis entre le TM et la précision spatiale des réponses serait supportée si les résultats de cette analyse indiquaient une augmentation marquée du TM lors de la phase de transfert.

Les résultats de l'analyse de la variance n'indiquent qu'un effet significatif d'interaction prenant place entre le niveau de pratique et la phase expérimentale, $F(1, 15) = 6.36, p < .05$. Cet effet d'interaction est illustré à la Figure 4 et indique que le TM était d'environ 10 ms plus élevé lors de la phase de transfert qui prenait place après 200 essais de pratique que pour les trois autres conditions. Par ailleurs, ces résultats indiquent aussi que la performance de TM des sujets étaient très près du TM critère puisque l'erreur constante de TM oscille entre 0.2 ms et 12.4 ms.

Résumé

Les grandes tendances des résultats présentés dans cette section peuvent se résumer de la façon suivante. Premièrement, la précision temporelle du mouvement

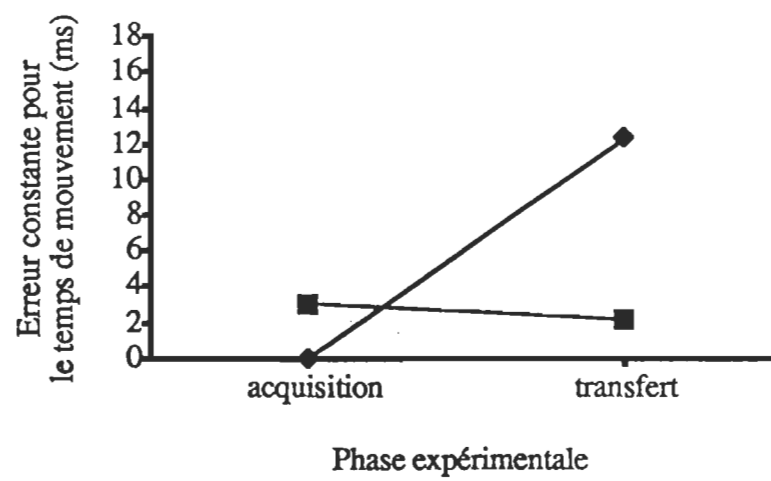


Figure 4. Erreur constante pour le temps de mouvement en fonction de la phase expérimentale.

s'améliore avec la pratique; elle subit cependant une forte détérioration lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Cette forte détérioration prend donc place lorsque la vision du membre qui exécute la réponse est permise. Deuxièmement, pour ce qui est de la précision spatiale du mouvement, on note une forte amélioration de la performance lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Cette amélioration de la performance lors de la phase de transfert résulte de l'addition de la vision du membre qui exécute la tâche. Pour ce qui est de la précision spatiale on note aussi que, lors de la phase de transfert, la performance est identique peu importe la quantité de pratique dont les sujets ont bénéficié. La performance obtenue semble donc être directement liée à l'utilisation de l'information visuelle disponible. Toutefois, étant donné que les sujets bénéficiaient de la connaissance du résultat (CR) même lors de la tâche de transfert, il est possible que l'absence d'une différence de performance lors de la tâche de transfert, et ce, peu importe la quantité de pratique dont avaient bénéficié les sujets soit due à la disponibilité de la CR.

Résultats du pré-test et des phases de transfert

Afin de déterminer l'effet de la pratique d'une tâche, sans la vision du membre qui la réalise, sur la performance obtenue pour la même tâche alors que la vision du membre est permise, les résultats de l'EQM obtenus lors du pré-test ont été comparés à ceux obtenus lors des deux tâches de transfert. De fait, les résultats ont été soumis à des analyses de la variance de type $P \times Q$ et utilisant des mesures répétées sur les deux facteurs. Le premier facteur était la phase expérimentale et comptait trois niveaux (pré-test, post-test 1 et post-test 2)³. Le deuxième facteur était le bloc d'essais considéré et

³Les vocables "post-test" et "transfert" sont interchangeables.

comptait deux niveaux (bloc 1 et bloc 2). A cause de la présence de la CR dans les phases du pré-test et des post-tests et d'un réapprentissage possible lors des deux post-tests, les blocs d'essais considérés comptaient, d'une part, les trois premiers essais réalisés dans chacune de ces phases expérimentales et, d'autre part, les essais 8, 9 et 10 réalisés dans les mêmes phases.

Précision sur le temps de mouvement

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 5a. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif de la phase expérimentale, $F(2, 30) = 11.47, p < .05$, et de l'interaction entre la phase expérimentale et le bloc d'essais, $F(2, 30) = 4.23, p < .05$. Aucun autre effet n'a été trouvé significatif. Les comparaisons a posteriori des moyennes obtenues pour chacune des phases expérimentales indiquent une performance significativement meilleure au pré-test (22.5 ms) que lors des deux post-tests (respectivement 42 ms et 31.5 ms). Par ailleurs, le résultat obtenu lors du post-test 2 est significativement meilleur que celui obtenu lors du premier post-test. Toutefois, à cause de l'effet d'interaction trouvé significatif, l'analyse de la variance a été décomposée en ses effets simples. Les résultats de cette décomposition indiquent que l'effet du bloc d'essais n'est significatif que lors du post-test 2, $F(1, 15) = 11.90, p < .05$. Comme on peut le constater à la Figure 5a, cet effet d'interaction indique que la performance au post-test 2 s'est significativement améliorée entre le premier et le second bloc (respectivement 42.8 ms et 23.1 ms). La performance atteinte à ce second bloc était, par ailleurs, identique à celle retrouvée au pré-test.

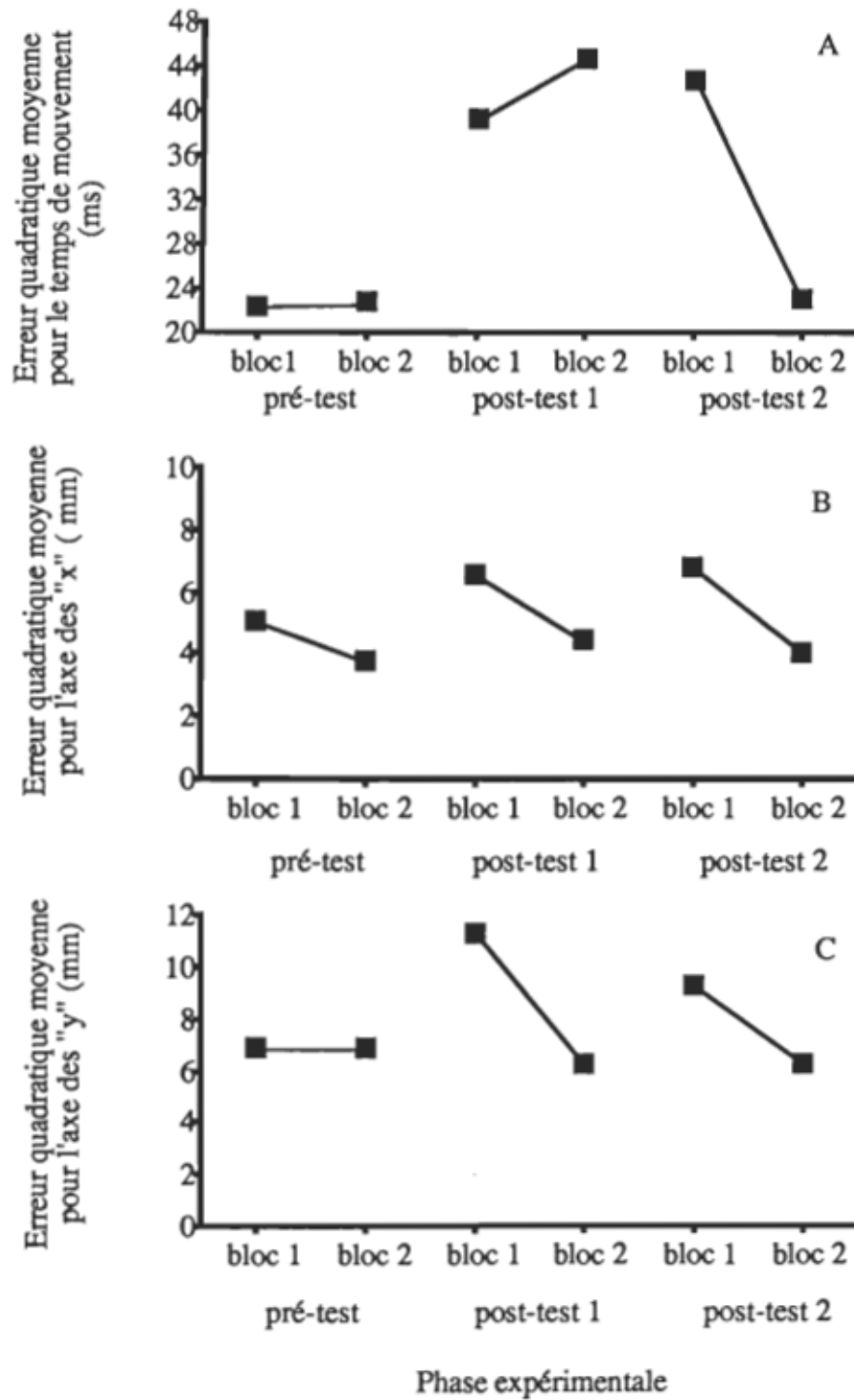


Figure 5. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale.

Précision sur l'axe des x

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 5b. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif du bloc d'essais, $F(1, 15) = 20.07, p < .05$. Aucun autre effet n'a été trouvé significatif. L'effet de bloc indique que la performance obtenue au second bloc était significativement meilleure que celle retrouvée au premier bloc.

Précision sur l'axe des y

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 5c. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir des effets significatifs du bloc d'essais, $F(1, 15) = 21.75, p < .05$, et de l'interaction entre la phase expérimentale et le bloc d'essais, $F(2, 30) = 5.19, p < .05$. A cause du but de ce mémoire, l'effet d'interaction a été décomposé en ses effets simples. Les résultats de cette décomposition indiquent un effet significatif de la phase expérimentale au premier bloc d'essais, $F(2, 30) = 8.12, p < .05$. Les comparaisons des moyennes obtenues lors du premier bloc d'essais indiquent une performance significativement inférieure aux deux post-tests qu'au pré-test (moyennes respectives de 11.3 mm, 9.27 mm et 6.9 mm). Il n'y avait cependant aucune différence entre les résultats obtenus pour chacune des phases expérimentales lors du deuxième bloc d'essais, $F(2, 30) < 1.0$.

Résumé

Les résultats présentés dans cette section indiquent que la performance de TM s'est fortement détériorée lors du passage aux phases de transfert. Lors du post-test 2, cette détérioration n'était cependant présente que pour le premier bloc d'essais réalisés. Pour ce qui est des résultats obtenus pour la précision spatiale, il apparaît que la

performance était moins bonne lors des tâches de transfert que lors du pré-test. Encore une fois, comme l'indiquent les Figures 5b et 5c, cet effet ne prenait place que pour le premier bloc d'essais. A cet effet, il est utile de rappeler que la CR était disponible lors des tâches de transfert ce qui peut permettre d'expliquer la nature évasive de l'effet retrouvé. Ces résultats indiquent que le fait d'avoir pratiqué la tâche expérimentale avec la seule vision de la cible disponible non seulement n'a pas permis d'améliorer la performance obtenue lorsque la vision du membre était elle aussi disponible, mais a causé une détérioration de la performance. Toutefois, le sujet a pu s'ajuster rapidement à sa nouvelle situation (clarté) et a sans doute bénéficié de la CR que lui procurait l'expérimentateur.

Discussion

Le présent mémoire avait deux objectifs précis. Dans un premier temps, il s'agissait de déterminer si l'information visuelle disponible dans une condition de type C+E permettrait à l'individu d'améliorer sa performance suite à un long apprentissage d'une tâche d'atteinte réalisée dans une condition expérimentale où seule la cible à atteindre est visuellement disponible. Le deuxième objectif qui était poursuivi était de déterminer si l'apprentissage d'une tâche d'atteinte se fait de façon aussi spécifique que ce qui a été proposé par Proteau et ses collaborateurs (Proteau et al., 1987; Proteau, Marteniuk & Lévesque, 1987). Cette proposition serait supportée s'il pouvait être démontré que l'apprentissage prenant place dans une situation donnée ne peut pas être transféré à une autre situation où une nouvelle source d'information est ajoutée.

La première série d'analyses qui a été réalisée avait pour but de déterminer si un apprentissage avait effectivement pris place au cours de l'entraînement. Pris

globalement, les résultats supportent cette hypothèse bien que l'effet d'apprentissage soit plus faible que prévu. Cet effet d'apprentissage plutôt modeste est probablement dû à la tâche expérimentale utilisée. En effet, il semble que la plus grande partie de cet effet ait pris place très tôt dans l'entraînement et qu'il ait ensuite été impossible d'améliorer davantage l'effet obtenu. L'utilisation d'une tâche expérimentale plus exigeante pourrait permettre de remédier à ce problème.

La deuxième série d'analyses avait pour objectif de comparer les résultats obtenus pour la tâche de transfert à celle obtenue pour les essais d'acquisition qui la précédait. Si, comme il a été précédemment proposé (Adams et al , 1977; Posner, Nissen & Klein, 1976; Smyth, 1977, 1978), l'information visuelle domine le développement de la représentation du mouvement, et si l'information visuelle provenant du membre qui exécute la tâche est particulièrement importante (Carlton, 1981b; Hay et Beaubaton, 1985, 1986; Proteau et al, 1987) alors, l'ajout de cette dernière source d'information devrait permettre d'améliorer la performance dans une tâche d'atteinte. Tel serait le cas même si les sujets avaient bénéficié d'une longue période d'apprentissage sans que ce type d'information ne soit disponible. Les résultats obtenus pour cette série d'analyses supportent totalement l'hypothèse proposée. Ainsi, une forte amélioration de la précision spatiale du mouvement a été notée lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Tel était d'ailleurs le cas peu importe que les sujets aient bénéficié de 200 ou de 1200 essais de pratique. Les résultats de cette série d'analyses supportent donc l'idée que la vision du membre qui exécute la tâche est nécessaire pour une performance optimale.

Il faut aussi noter que les résultats obtenus pour la précision temporelle du mouvement se sont révélés très intéressants. Cette précision temporelle s'est beaucoup détériorée lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Tel n'était cependant pas le cas dans l'étude de Proteau et al (1987). En effet, ces auteurs n'avaient noté aucune différence de précision temporelle lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Cependant, dans cette étude, la vision du membre qui exécutait la tâche était disponible dans la phase d'acquisition et était retirée lors de la tâche de transfert.

Une explication de ces résultats apparemment contradictoires est cependant possible. On peut supposer que lorsque la phase d'acquisition se fait sans que la vision du membre qui exécute la tâche ne soit disponible, l'individu développe une représentation sensori-motrice du mouvement à laquelle est intégrée une approximation des informations visuelles que le sujet recevraient en contexte régulier. Ainsi, on peut supposer que le sujet essaie de faire correspondre le feedback proprioceptif qu'il obtient avec une estimation visuelle de la position adoptée par son membre. Lorsque, dans la tâche de transfert, la véritable information visuelle ayant trait à la position de son membre devient disponible, il est plausible qu'elle ne corresponde pas exactement à l'estimation que le sujet avait réalisée. Il y a donc inégalité entre les conséquences estimées et celles obtenues⁴, ce qui peut mener à une détérioration de la précision temporelle, mais peut-être aussi spatiale du mouvement⁵. Au contraire, lorsque la

⁴Ce concept est identique à celui présenté par Schmidt (1975, 1982).

⁵Par exemple, tel pourrait être le cas parce qu'une certaine partie des ressources attentionnelles de l'individu sont requises pour essayer de corriger l'erreur temporelle qui a été décelée.

vision du membre est disponible lors de la phase d'acquisition, le sujet peut facilement faire correspondre les informations visuelles et proprioceptives qu'il reçoit. Ainsi, lors du retrait de l'information visuelle ayant trait au déplacement du membre lors de la phase de transfert, le sujet peut continuer à obtenir une bonne performance temporelle.

Les résultats obtenus pour la précision temporelle du mouvement fournissent une bonne indication sur le type de représentation du mouvement qui est remis en mémoire. Il apparaît qu'il pourrait s'agir d'une sorte de carte visuo-spatiale susceptible de contenir les coordonnées du membre qui exécute la tâche en fonction de son corps, de l'environnement et de la cible à atteindre. Cette proposition a déjà été faite par Hein (1974) qui spécifiait que les rétroactions (proprioceptive et visuelle) provenant de l'exécution du mouvement étaient corrélées ou intégrées avec la position exacte prise par le membre qui exécute la tâche.

La dernière série d'analyses a été réalisée afin de répondre au but majeur de cette étude. La comparaison des performances obtenues aux différentes phases expérimentales (pré-test, post-test 1 et post-test 2) a permis de déterminer si l'apprentissage d'une tâche d'atteinte, alors que seule la cible est visuellement disponible, a pu effectivement nuire à la performance de la même tâche alors que la vision du membre et de la cible est disponible (situation de vision complète). Les conclusions de cette série d'analyses supportent notre hypothèse et se résument donc en une détérioration de la performance lors du passage aux deux phases de transfert (comparaison du pré-test avec les deux tâches de transfert). Donc, une détérioration de la performance a été notée aux phases de transfert (situation de vision complète) suite à l'apprentissage de la tâche d'atteinte alors que seule la cible était visuellement

disponible. Toutefois, cette détérioration était de très courte durée puisqu'elle n'est présente que pour les quelques premiers essais de la tâche de transfert. La nature plutôt évasive de cet effet est sans doute due au fait que la CR était disponible dans la tâche de transfert et qu'elle a pu aider les sujets à s'adapter rapidement aux nouvelles conditions de l'environnement. Dans le futur le retrait de la CR lors de la tâche de transfert serait une éventualité à considérer.

Les résultats de la présente expérience supportent donc l'hypothèse voulant que les informations présentes lors de la situation d'apprentissage contribuent à former une représentation sensori-motrice de la tâche à accomplir qui est spécifique aux-dites sources d'informations. Ces résultats corroborent donc ceux obtenus par Proteau et al (1987) et ceux qui ont pu être calculés à partir de l'article de Adams et al (1977). De plus, les présents résultats supportent l'hypothèse que l'addition d'une nouvelle source d'information ou le retrait d'une source présente lors de l'apprentissage amènent à une détérioration de la performance lors du transfert.

En dernier lieu, il convient de préciser qu'un aspect des résultats obtenus dans cette dernière série d'analyses ne supportent pas une facette de l'hypothèse proposée. Dans l'introduction du présent mémoire il a été proposé que la représentation abstraite du mouvement qui se développe au cours de l'apprentissage devenait de plus en plus forte. Cela menait donc à la proposition que la détérioration de la performance attendue lors des post-tests devait être plus marquée au post-test 2 qu'au post-test 1. Il faut noter toutefois que cette hypothèse n'est supportée que partiellement puisque l'on s'attendait à une détérioration plus importante lors du post-test 2. Tel n'a cependant pas été le cas. Une explication possible de ce résultat pourrait être que la tâche

expérimentale utilisée était trop simple et, de ce fait, ne permettait pas à l'effet attendu de prendre place⁶.

EXPERIENCE 2

Comme il a été mentionné précédemment, les hypothèses présentées dans l'introduction du présent mémoire n'ont pas été entièrement supportées par les résultats obtenus lors de la première expérience. Deux raisons principales peuvent être invoquées pour expliquer ce fait. Premièrement, la tâche expérimentale utilisée semblait être trop simple, ce qui a permis aux sujets d'atteindre dès la première séance expérimentale un très haut niveau de performance. Il en résulta donc que l'effet d'apprentissage escompté lors de la période d'entraînement n'était pas aussi marqué que celui qui était attendu. Deuxièmement, en ce qui concerne la tâche de transfert, il semble bien que la CR dont les sujets ont bénéficié puisse permettre d'expliquer la nature très temporaire de l'effet obtenu. Un effet plus persistant pourrait sans doute être obtenu si la tâche de transfert était réalisée sans CR.

Ces deux améliorations ont été apportées dans la deuxième expérience. Dans un premier temps, quoique la tâche du sujet soit essentiellement demeurée la même, ceux-ci devaient maintenant exécuter la tâche expérimentale en résistant l'application d'une perturbation. Cette perturbation était de même grandeur d'un essai à l'autre et, de plus, était toujours appliquée au même moment. La tâche du sujet était donc beaucoup plus complexe que dans la première expérience puisqu'il devait maintenant apprendre à

⁶En fait, nous proposons qu'un effet de plafonnement (ceiling effect) a pu prendre place.

réaliser la tâche d'atteinte et à produire les compensations nécessaires pour atteindre ce premier objectif avec succès. En ce qui concerne la nature très temporaire du transfert négatif retrouvé lors de la tâche de transfert, le retrait de la CR lors de cette phase expérimentale devrait permettre d'atteindre le but visé. De plus, la nature "plus permanente" de l'effet escompté sera évalué en utilisant un nombre plus élevé d'essais lors des phases de transfert.

La première expérience était surtout de nature exploratoire. Pour cette raison, le schème expérimental utilisé avait été simplifié. Toutefois, des conclusions beaucoup plus fortes pourraient être proposées si un schème expérimental plus complet était utilisé. Ainsi, afin de mieux comprendre la nature des effets obtenus deux autres groupes de sujets sont ajoutés à celui utilisé dans la première expérience. D'une part, il y a un groupe dont les sujets bénéficient de la même quantité de pratique que les sujets de la première expérience, mais cette fois-ci, dans une situation expérimentale de type C+E. D'autre part, un deuxième groupe de sujets est soumis à une tâche de contrôle. Ces sujets ne sont soumis qu'aux phases expérimentales de pré-test et de post-tests. Ces deux groupes de sujets, en plus du groupe déjà présent dans la première expérience, sont utilisés dans cette deuxième expérience.

Tâche des sujets

La tâche des sujets est essentiellement la même que dans la première expérience. Cependant, pendant son mouvement d'atteinte, le sujet doit compenser l'application d'une perturbation qui freine son mouvement. Ce frein est appliqué 225 ms après l'amorce du mouvement, et ce, pour une durée de 150 ms.

Appareillage

L'appareillage est composé des mêmes éléments que celui utilisé dans la première expérience. Toutefois, un bras polyarticulé est assujéti au bras du sujet. Le bras du sujet est alors en position de supination. Ce bras polyarticulé est situé du côté gauche du sujet et est fabriqué dans un alliage métallique léger. Il est ajustable de telle sorte qu'un axe de rotation soit situé au centre de rotation des articulations de l'épaule, du coude et du poignet. De cette façon, chaque modification de la position du bras du sujet entraîne une modification identique des "articulations" du bras polyarticulé. Les ajustements du bras polyarticulé permettent les mouvements du membre supérieur du sujet dans plusieurs plans différents. Ainsi, il y a deux degrés de liberté à l'épaule (abduction-adduction et flexion-extension), un degré de liberté au coude (flexion-extension) et un dernier degré de liberté au poignet du sujet (flexion-extension). Le bras polyarticulé se termine par une poignée qui est elle-même prolongée par un stylet dont la pointe est identique à celle utilisée dans la première expérience. Cette partie de l'appareillage est illustrée à la Figure 6.

La perturbation à laquelle il a précédemment été fait mention est produite à l'aide d'un frein magnétique et est appliquée à chaque essai. Ce frein magnétique ralentit le déplacement de la portion supérieure du bras du sujet. Les caractéristiques des appareils utilisés permettent de produire ces perturbations de façon presque instantanée. De fait, il s'écoule moins de 10 ms entre l'activation du frein magnétique et sa répercussion sur le déplacement du bras polyarticulé dans le plan sagittal. Finalement, il faut noter que le reste de l'appareillage utilisé est identique à ce qui a été décrit à la première expérience.

Procédure

Dans cette expérience, trois groupes de sujets réalisent la tâche d'atteinte manuelle. Les sujets d'un premier groupe (C + E) réalisent 1200 essais de pratique répartis en six séances expérimentales. Les sujets d'un second groupe réalisent eux aussi 1200 essais de pratique. Toutefois, cette pratique est réalisée dans la condition C. Les sujets de ces deux groupes reçoivent, suite à chacun des essais réalisés dans cette période d'entraînement, de l'information (CR) sur la précision spatiale (en mm sur les axes x et y) et la précision temporelle (en ms) de leur mouvement. Les sujets d'un troisième groupe ne sont soumis à aucune pratique. Il s'agit d'un groupe contrôle.

Outre la période d'entraînement (lorsque cela s'applique) les sujets des trois groupes décrits précédemment sont soumis à un pré-test de même qu'à deux post-tests. Le pré-test prend place avant la période de pratique et compte quatre blocs de 10 essais réalisés sous la condition C + E. Les sujets bénéficient alors de la CR sur le TM. Le premier post-test (post-test 1) prend place après les 200 premiers essais de pratique⁷. Il compte aussi 40 essais réalisés sous la condition C + E. Toutefois, les sujets ne bénéficient pas de la CR suite à leur performance. Finalement, le dernier post-test (post-test 2) est administré suite aux 1200 essais de pratique et est identique au post-test 1. Les instructions données aux sujets sont les mêmes que celles utilisées dans la première expérience. L'expérimentateur mentionnait cependant au sujet que ce dernier devait poursuivre son mouvement lorsque le frein était appliqué afin de produire la réponse

⁷Pour le groupe contrôle un délai équivalent au temps moyen requis pour réaliser 200 essais expérimentaux prend place entre le pré-test et le post-test 1. La même logique est suivie pour ce qui est du post-test 2; un délai de 48 heures est alors respecté.

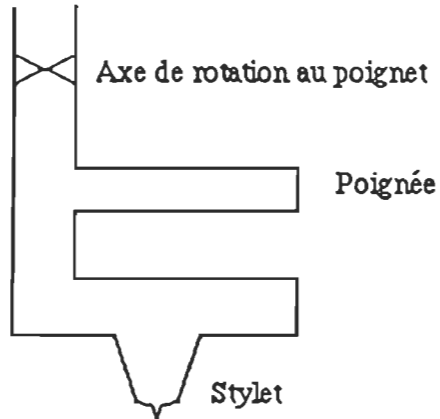


Figure 6. Schéma du stylet utilisé dans la deuxième expérience.

	Pré-test	Pratique	Post-test 1	Pratique	Post-test 2
Groupe expérimental	C + E 40 essais réalisés sous la condition	200 essais réalisés sous la condition C + E avec CR*	40 essais réalisés	1000 essais réalisés sous la condition C + E avec CR*	40 essais réalisés
	C C + E avec connaissance du	200 essais réalisés sous la condition C avec CR*	sous la condition C + E. La CR	1000 essais réalisés sous la condition C avec CR*	sous la condition C + E. La CR
	Contrôle résultat pour le TM suite à chaque essai	Repos de 30 minutes	n'est pas disponible	Repos de 48 heures	n'est pas disponible

Tableau 2. Le design expérimental de l'expérience 2.

* La connaissance du résultat est donnée pour la précision spatiale (mm) et la précision temporelle.(ms).

dans les délais requis (550 ms). Un résumé du design expérimental utilisé est consigné au Tableau 2.

Résultats

Comme dans la première expérience, l'EQM est la principale variable dépendante utilisée dans cette expérience. Par ailleurs, les résultats bruts ont été soumis à une transformation logarithmique $[\ln(x)]$ avant le calcul des différentes analyses statistiques. La présentation des résultats et les objectifs poursuivis sont identiques à ceux de la première expérience. On retrouve donc trois sections principales où il est traité: (a) de la phase d'acquisition, (b) de la transition entre la tâche d'acquisition et la tâche de transfert et (c) du pré-test et des phases de transfert.

Phase d'acquisition

Les analyses statistiques réalisées dans cette section avaient pour objectif de comparer la performance moyenne obtenue lors de chacune des six séances expérimentales auxquelles se sont présentés les sujets des groupes ayant bénéficiés d'une période de pratique. Il convient de rappeler que lors de cette pratique la vision de la cible à atteindre était toujours permise. Celle-ci s'effectuait avec (groupe C + E) ou sans (groupe C) la vision du membre qui exécutait la tâche.

Les résultats obtenus pour chaque variable dépendante ont donc été soumis à une analyse de la variance de type $P \times Q$ et utilisant des mesures répétées sur le deuxième facteur. Le premier facteur était le groupe expérimental et comptait deux niveaux (C + E et C). Le second facteur avait trait à la séance expérimentale et comptait six niveaux (séance 1 à 6). Pour ce facteur, l'EQM a été calculée sur l'ensemble des 200 essais de pratique retrouvés dans chacune des séances expérimentales.

Précision sur le temps de mouvement

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 7a. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif de la séance expérimentale, $F(5, 30) = 4.9$, $p < .05$. De fait, la comparaison des moyennes obtenues pour chaque séance expérimentale indique que la performance obtenue lors des deux premières séances (moyenne de 31.8 ms) est significativement inférieure à celles obtenues aux deux dernières séances (moyenne de 26.2 ms).

Précision sur l'axe des x

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 7b. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir des effets significatifs du groupe expérimental, $F(1, 6) = 32.8$, $p < .05$ et de la séance expérimentale, $F(5, 30) = 4.2$, $p < .05$. Ces résultats indiquent que la performance obtenue par le groupe C + E (6.9 mm) est significativement meilleure que celle obtenue par le groupe C (12.7 mm). Par ailleurs, il faut finalement noter que, tel qu'illustré à la Figure 7b, la performance avait tendance à s'améliorer au fur et à mesure que l'entraînement progressait. De fait, l'amélioration retrouvée entre la séance 1 et la séance 6 était de 27% pour le groupe C + E et aussi de 27% pour le groupe C.

Précision sur l'axe des y

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 7c. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir des effets significatifs du groupe expérimental, $F(1, 6) = 6.3$, $p < .05$, et de la séance expérimentale, $F(5, 30) = 15.4$, $p < .05$. Les résultats de cette analyse indiquent que la performance obtenue par le groupe C + E (11.9 mm) est significativement meilleure que celle

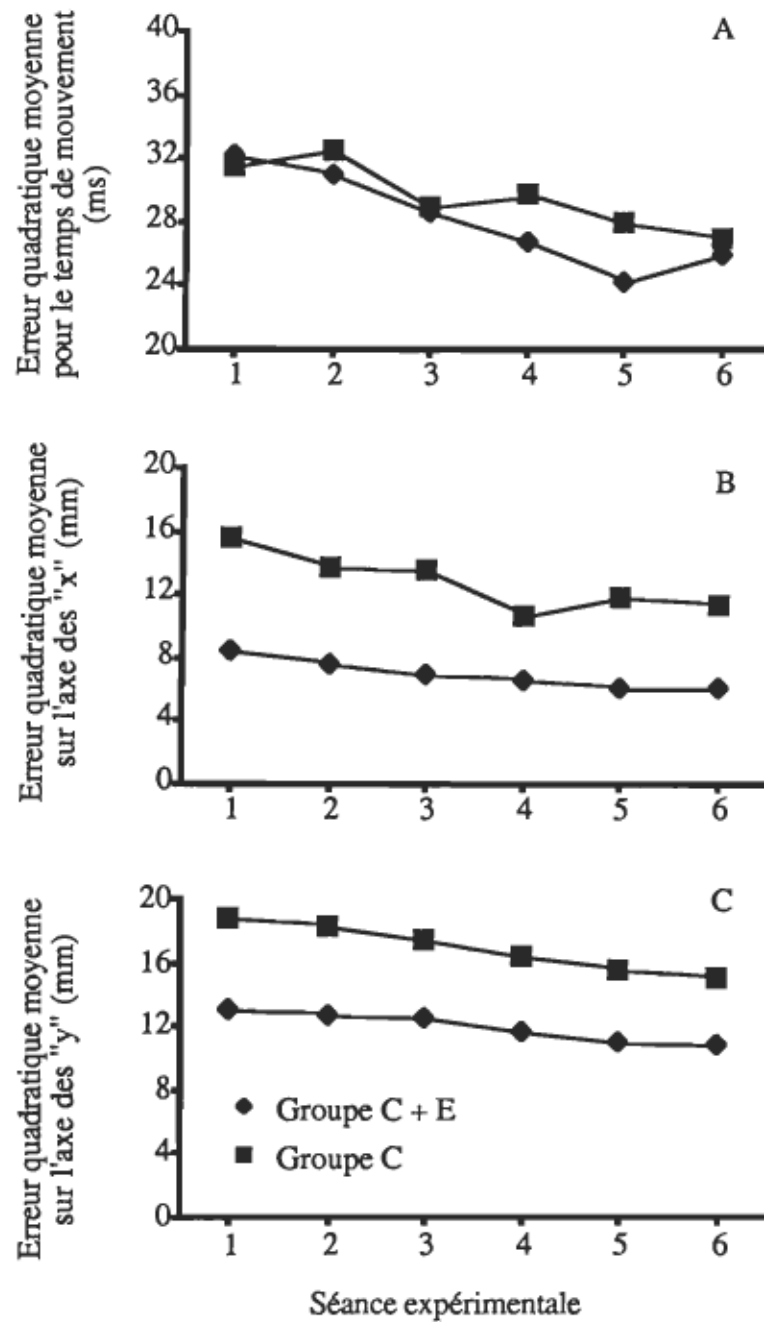


Figure 7. Erreur quadratique moyenne en fonction de la séance expérimentale et du type d'information disponible lors de l'apprentissage.

obtenue par le groupe C (17.7 mm)⁸. La comparaison des moyennes obtenues pour chaque séance expérimentale indique plusieurs différences significatives laissant voir que la performance s'améliorait avec le niveau d'entraînement. Il faut finalement noter que, de la séance 1 à la séance 6, la performance s'est améliorée de 19% pour les sujets du groupe C et de 18% pour les sujets du groupe C + E.

Résumé

Les résultats obtenus dans cette série d'analyses laissent voir qu'un effet d'apprentissage a effectivement pris place au cours des six séances expérimentales. Cet effet d'apprentissage était cependant plus marqué pour la composante spatiale du mouvement que pour sa composante temporelle. Toutefois, dans ce dernier cas, il faut noter la très bonne performance obtenue par les sujets lors de la toute première séance expérimentale. Par ailleurs, les sujets du groupe C + E obtenaient toujours une meilleure performance que les sujets qui ne bénéficiaient pas de cette source d'information. De fait, la performance obtenue par les sujets du groupe C lors de la sixième séance expérimentale était inférieure à celle obtenue par les sujets du groupe C + E lors de la première séance expérimentale. Ces résultats complètent de façon très convaincante ceux obtenus dans la première expérience et indiquent que l'effet d'apprentissage escompté a bel et bien pris place. Finalement, il convient de souligner que les sujets des deux groupes laissent voir une amélioration identique lorsque considérée en termes relatifs.

⁸L'erreur plus grande retrouvée sur cette dimension du mouvement s'explique par le fait que la composante principale du mouvement était réalisée sur celle-ci.

Résultats de transfert

Les résultats ont été soumis à des analyses de la variance de type $P \times Q \times R \times S$ et utilisant des mesures répétées sur les trois derniers facteurs. Le premier facteur était le groupe de sujets et comptait deux niveaux: C + E et C. Le second facteur était le nombre d'essais de pratique dont les sujets avaient bénéficié et comptait deux niveaux: 200 et 1200. Le troisième facteur était la phase expérimentale considérée et comptait aussi deux niveaux: acquisition et transfert. Finalement, le quatrième facteur était le bloc d'essais considéré. Il y avait quatre de ces blocs et chacun comptait 10 essais expérimentaux.

Précision sur le temps de mouvement

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 8a. Les résultats de cette analyse laissent voir un effet significatif de la phase expérimentale, $F(1, 6) = 16.1, p < .05$. Aucun autre effet n'a atteint le seuil de signification requis, $p > .05$. Cet effet indique une meilleure précision temporelle lors de la phase d'acquisition (27.3 ms) que lors de la phase de transfert (32.6 ms). Par ailleurs, un examen de la Figure 8a indique qu'après 1200 essais de pratique, le groupe C + E obtient une performance identique aux phases d'acquisition et de transfert. Au contraire, pour le groupe C on note plutôt une tendance vers une détérioration de la performance lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Ce ne sont toutefois là que des tendances qui ne sont pas supportées statistiquement.

Précision sur l'axe des x

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 8b. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir des effets significatifs

du groupe expérimental, $F(1, 6) = 21.1$, $p < .05$ et de la phase expérimentale, $F(1, 6) = 20.8$, $p < .05$. Finalement, un effet d'interaction a pris place entre le groupe expérimental et la phase expérimentale, $F(1, 6) = 17.2$, $p < .05$. Ce sont là les seules différences trouvées significatives. Dans un premier temps, l'effet de groupe indique que la performance du groupe C + E (5.9 mm) est significativement meilleure que celle du groupe C (9.2 mm). Toutefois, la décomposition de l'effet d'interaction indique que, bien que cet avantage soit présent autant lors de la phase d'acquisition, $F(1, 8) = 33.9$, $p < .05$ que lors de la phase de transfert, $F(1, 8) = 7.1$, $p < .05$, il est significativement plus marqué dans le premier cas (différences respectives de 5.1 mm et de 1.9 mm). Ici, il convient de noter que, lors de la phase de transfert, les sujets des deux groupes réalisaient la tâche dans les mêmes conditions (C + E, sans CR).

Précision sur l'axe des y

Les résultats obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 8c. Les résultats de l'analyse de la variance indiquent un effet significatif de la quantité de pratique, $F(1, 6) = 22.7$, $p < .05$, une interaction significative entre le groupe expérimental et la quantité de pratique, $F(1, 6) = 16.1$, $p < .05$ et, finalement, une interaction double prenant place entre le groupe expérimental, la quantité de pratique et la phase expérimentale, $F(1, 6) = 21.3$, $p < .05$. Il faut aussi noter un effet marginal du groupe expérimental $F(1, 6) = 4.8$, $p = .07$. La décomposition de l'effet d'interaction double a été réalisée en utilisant la technique de Student (Laurencelle, 1987). De fait, il s'agit essentiellement de comparer pour chacun des deux groupes de sujets si le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert a eu la même incidence sur la performance après 200 et 1200 essais de pratique. Pour ce qui est du groupe C + E, on note que la différence retrouvée après 200 essais de pratique est plus

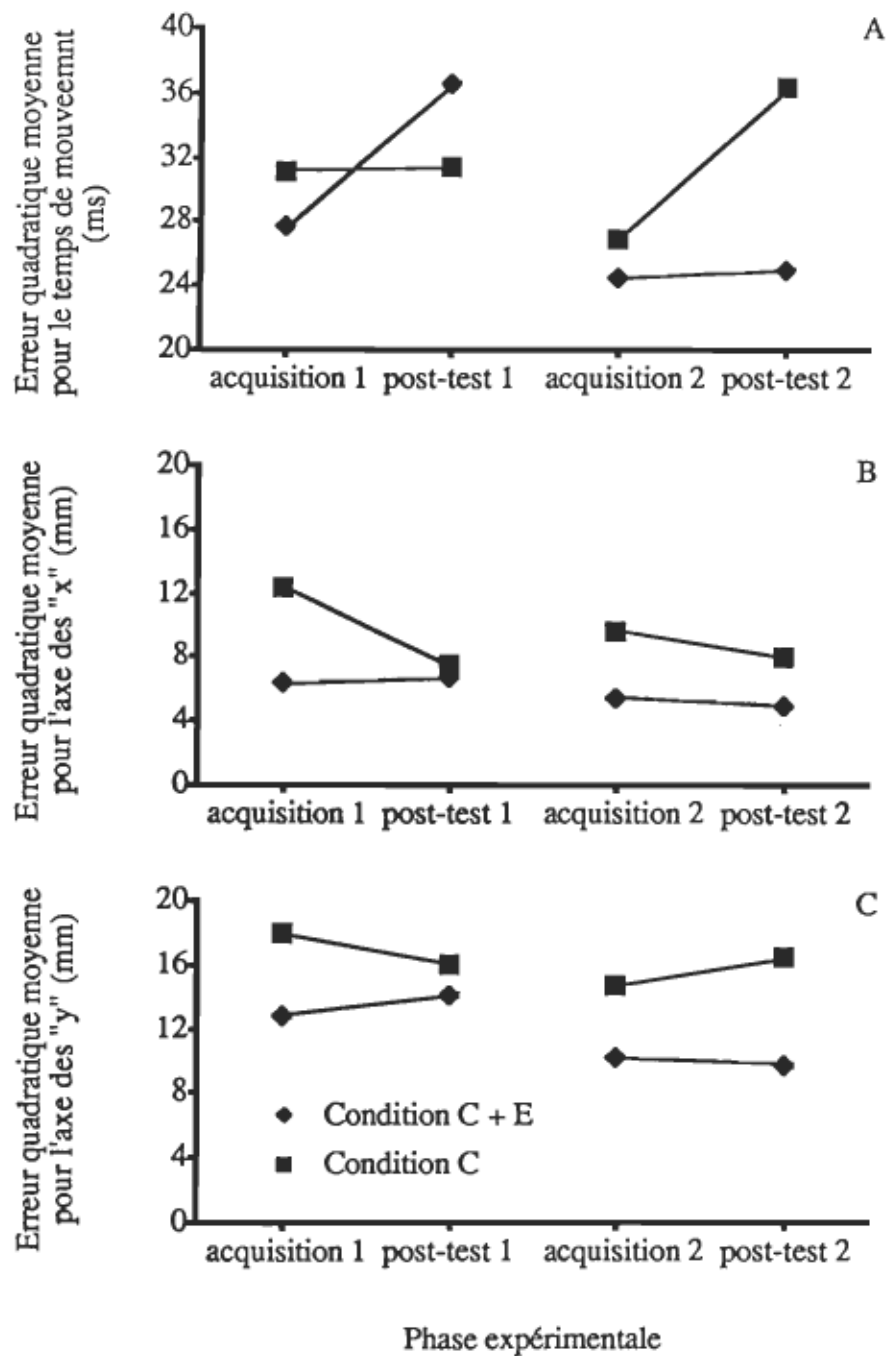


Figure 8. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale et du type d'information disponible lors de l'apprentissage...

marquée que celle retrouvée après 1200 essais de pratique, $t(6) = 3.67$, $p < .05$. De fait, en consultant la Figure 8c, on peut noter une diminution de la performance suite à 200 essais de pratique (de 12.9 mm à 14.2 mm). Au contraire la performance est stable suite à 1200 essais de pratique (de 10.2 mm à 9.7 mm). Les résultats obtenus pour le groupe C sont très différents. Ainsi, le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert n'influence pas la performance après 200 essais de pratique (16.1 mm) alors qu'une détérioration de la performance prend place suite à 1200 essais de pratique (respectivement 14.8 mm et 16.6 mm), $t(6) = 2.8$, $p < .05$.

Résumé

Les résultats présentés dans cette section peuvent se résumer de la façon suivante. La précision temporelle du mouvement se détériore lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Cette tendance semble toutefois être plus marquée tôt dans l'apprentissage pour les sujets du groupe C + E et beaucoup plus tard dans l'apprentissage pour les sujets du groupe C. Dans le premier cas, on peut proposer que cela est dû au retrait de la CR. Dans le second cas, ces résultats reproduisent assez bien ceux obtenus dans la première expérience. Pour ce qui est de la précision spatiale du mouvement, il est utile de considérer le Tableau 3. Ainsi, dans un premier temps, on note pour les sujets du groupe C + E des performances très semblables pour les deux axes considérés. Ainsi, le retrait de la CR entraîne une baisse de 8 % de la performance lorsque cela survient après 200 essais de pratique. Toutefois, après 1200 essais de pratique on note plutôt une légère amélioration de la performance de 7%. Deuxièmement, lorsque les deux phases expérimentales sont confondues, on remarque que la quantité de pratique entraîne une amélioration de la performance de 18% sur l'axe des x et de 26% sur l'axe des y. Pour ce qui est des résultats du groupe C, la

		Entraînement 200				Entraînement 1200			
		Acquisition		Transfert		Acquisition		Transfert	
		x	y	x	y	x	y	x	y
Groupe expérimental	C + E	12.9	6.3	14.2	6.8	10.2	5.6	9.7	5.0
	C	16.1	12.5	16.1	7.5	14.8	9.7	16.6	8.0

Tableau 3. Erreur quadratique moyenne (en mm) pour la précision spatiale en fonction de la quantité d'entraînement, de la phase expérimentale et de l'axe considéré.

performance en phase d'acquisition s'améliore avec la pratique de 8% sur l'axe des y et de 22% sur l'axe des x. Ces résultats sont contraires à ce que l'on retrouve en phase de transfert où c'est plutôt une légère baisse de la performance qui est notée en fonction d'une augmentation de la quantité de pratique. Contrairement à ce qui a été obtenue dans la première expérience, les sujets du groupe C n'ont pas amélioré leur performance sur l'axe des y lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. L'ajout de la vision de l'environnement lors de la phase de transfert n'a donc pas aidé les sujets à améliorer leur performance sur cet axe. Toutefois, lorsque l'on compare la performance du groupe C à celle du groupe C + E on remarque que, peu importe la phase expérimentale ou la quantité de pratique, la performance du premier groupe est toujours supérieure à celle du deuxième groupe. Finalement, lorsque la tâche est difficile et qu'elle a été apprise sans vision de l'environnement, il semble que l'ajout de ce type d'information ne permette pas d'améliorer la performance. Au contraire, cela semble même nuire à la performance après un long entraînement.

Résultats du pré-test et des phases de transfert

Dans cette série d'analyses, les résultats de l'EQM obtenus lors du pré-test ont été comparés à ceux obtenus lors des deux tâches de transfert (post-test 1 et post-test 2). De fait, les résultats ont été soumis à des analyses de la variance de type $P \times Q \times R$ utilisant des mesures répétées sur les deux derniers facteurs. Le premier facteur était le groupe expérimental et comptait trois niveaux (C + E, C et contrôle). Le deuxième facteur était la phase expérimentale et comptait trois niveaux (pré-test, post-test 1 et post-test 2). Finalement, le troisième facteur était le bloc expérimental et comptait quatre niveaux (bloc 1 à 4). Chaque bloc était composé de 10 essais.

Précision sur le temps de mouvement

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 9a. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif de la phase expérimentale, $F(2, 20) = 3.5$, $p < .05$ et un effet d'interaction significatif entre le groupe expérimental et la phase expérimentale, $F(4, 20) = 3.4$, $p < .05$. Aucun autre effet n'a été trouvé significatif. A cause de l'effet d'interaction significatif, l'analyse de la variance a été décomposée en ses effets simples. Les résultats de cette analyse indiquent que les trois groupes de sujets ont obtenu une performance similaire lors du pré-test ($F < 1.0$) et du post-test 1, $F(2, 21) = 1.1$, $p > .05$. Toutefois, un effet significatif du groupe expérimental est observé au post-test 2, $F(2, 21) = 3.5$, $p < .05$. Cet effet indique que la performance du groupe C + E (24.6 ms) est significativement meilleure que celle obtenue par les sujets des groupes C et contrôle (respectivement 36.1 ms et 44.6 ms). De plus, la différence retrouvée entre les deux derniers groupes est, elle aussi, significative. La majeure partie de cette différence significative est attribuable (voir la Figure 9a) au fait que la performance du groupe C + E s'est améliorée lors du passage du pré-test et du post-test 1 au post-test 2, alors que les sujets des deux autres groupes, eux, subissaient une détérioration de leur performance lors du passage du pré-test à chacun des deux post-tests.

Précision sur l'axe des x

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 9b. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir un effet significatif du bloc expérimental, $F(3, 30) = 5.3$, $p < .05$ et un effet d'interaction significatif entre la phase expérimentale et le bloc, $F(6, 60) = 4.8$, $p < .05$. Aucun autre effet n'a atteint le seuil de signification requis. La décomposition de l'effet d'interaction indique un effet

significatif de la phase expérimentale lors du premier bloc d'essais, $F(2, 20) = 15.3$, $p < .05$. Pour ce bloc d'essais, la performance est significativement inférieure lors du pré-test (11.5 mm) que chacun des deux post-tests (respectivement 7.5 mm et 7.2 mm). L'effet de la phase expérimentale n'est pas significatif pour aucun des trois autres blocs d'essais (blocs 2 à 4), $F_s < 1.0$.

Précision sur l'axe des y

Les résultats moyens obtenus pour cette variable dépendante sont illustrés à la Figure 9c. Les résultats de l'analyse de la variance laissent voir des effets significatifs de la phase expérimentale, $F(2, 20) = 17.9$, $p < .05$ et du bloc d'essais, $F(3, 30) = 5.3$, $p < .05$. On note aussi un effet d'interaction significatif entre le groupe expérimental et la phase expérimentale, $F(4, 20) = 15.9$, $p < .05$. A cause de l'effet d'interaction significatif, l'analyse de la variance a été décomposée en ses effets simples. Les résultats de cette décomposition indiquent des effets significatifs de la phase expérimentale pour le groupe C + E, $F(2, 20) = 4.3$, $p < .05$ et le groupe C, $F(2, 20) = 7.0$, $p < .05$. La performance du groupe contrôle était identique peu importe la phase expérimentale considérée, $F < 1.0$. Les comparaisons de moyennes réalisées sur les effets trouvés significatifs indiquent que, pour le groupe C + E, la performance retrouvée au post-test 2 est significativement meilleure que celle retrouvée au post-test 1 (respectivement 14.2 mm et 9.7 mm). Pour ce qui est du groupe C, on note une détérioration significative de la performance lors du passage du pré-test (10.7 mm) à chacun des deux post-tests (respectivement 16.1 mm et 16.6 mm).

Pour ce qui est de l'effet significatif du bloc expérimental, la comparaison des moyennes indique que la performance est significativement moins bonne pour le premier bloc d'essais que pour chacun des trois autres blocs.

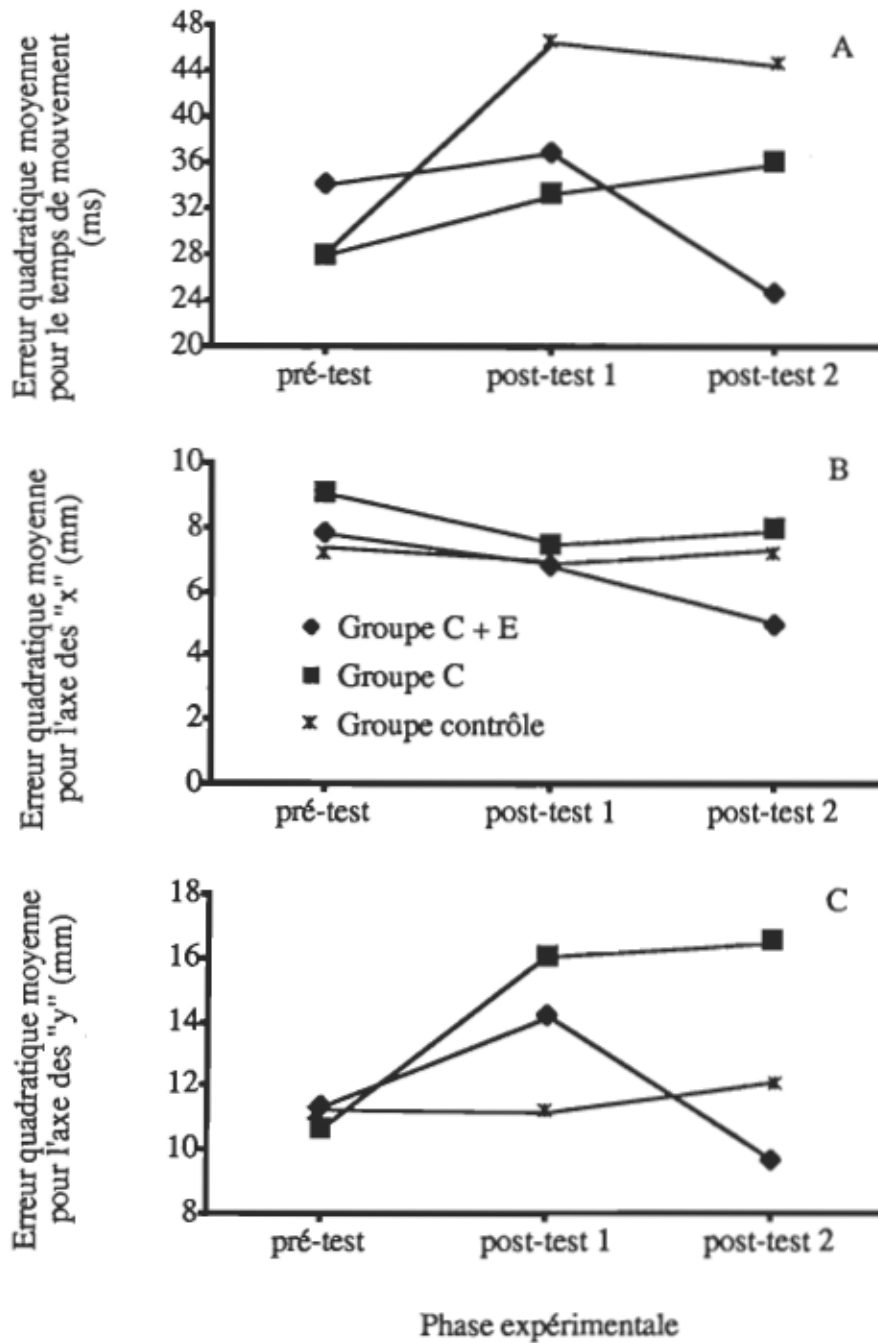


Figure 9. Erreur quadratique moyenne en fonction de la phase expérimentale et du type d'information disponible lors de l'apprentissage.

Résumé

Pour ce qui est de la précision temporelle du mouvement, il convient de noter que celle-ci était identique pour les trois groupes expérimentaux lors du pré-test et du post-test 1. Toutefois, lors du post-test 2, la performance était significativement meilleure pour les sujets du groupe C + E. De plus, la performance obtenue pour les sujets du groupe C était significativement meilleure que celle obtenue par les sujets du groupe contrôle. Pour ce qui est de la précision spatiale du mouvement, il faut noter que, lors du pré-test et peu importe l'axe mesuré, la précision était identique pour les trois groupes de sujets. Des résultats différents apparaissent cependant lors du passage du pré-test au post-test 1 en fonction de l'axe considéré. Pour ce qui est de l'axe des x, il faut noter une légère (non-significative) amélioration de la performance, et ce, pour les trois groupes de sujets. Pour ce qui est de l'axe des y, on note plutôt une diminution de la performance pour les sujets des groupes qui avaient bénéficié d'un entraînement en présence de la CR. La performance des sujets du groupe contrôle est demeurée stable. L'aspect le plus intéressant de ces résultats s'observe lors de la comparaison des résultats obtenus par les trois groupes de sujets lors des deux post-tests. La première chose qu'il faut noter est la similarité des résultats obtenus sur les deux axes considérés. Pour ce qui est du groupe contrôle, il faut noter que la performance demeure fixe. Ce résultat était anticipé puisque les sujets de ce groupe ne bénéficiaient pas d'une période d'entraînement. Maintenant pour ce qui est des sujets du groupe C + E, il faut noter une forte amélioration de la performance lors du passage du post-test 1 au post-test 2. Au contraire, on note plutôt une légère détérioration de la performance pour les sujets du groupe C. Lors du post-test 2, il faut noter que la performance des sujets du groupe C + E est, pour les deux axes, supérieure à celle du groupe contrôle

qui, elle, est supérieure à celle du groupe C. Ces différences n'ont cependant atteint le seuil de signification que sur l'axe des y qui, il faut le rappeler, était l'axe principal du mouvement.

Finalement, comme la précision temporelle et la précision spatiale des réponses des sujets du groupe C + E étaient supérieures à celles du groupe C, il est évident que les résultats obtenus ne sont pas dus à un compromis prenant place entre la précision spatiale et la précision temporelle du mouvement.

Discussion

Les objectifs de cette deuxième expérience étaient essentiellement les mêmes que ceux poursuivis dans la première expérience. Quelques modifications ont cependant été apportées. La première modification avait trait à l'utilisation d'une tâche plus exigeante dans le but d'amplifier les effets obtenus dans la première expérience. Deux autres objectifs étaient cependant plus importants. Il s'agissait, en premier lieu, de déterminer si la détérioration de la performance observée dans la première expérience lors du passage du pré-test aux phases de transfert serait de nature moins éphémère si la CR n'était pas disponible lors de la réalisation de la tâche de transfert. En second lieu, il s'agissait de déterminer si cette détérioration de la performance lors de la tâche de transfert allait être plus marquée après 1200 essais réalisés en phase d'acquisition qu'après 200 essais. La dernière modification apportée avait trait à l'utilisation d'un schème expérimental plus complet dans le but de mieux supporter les conclusions avancées dans la première expérience.

Dans un premier temps, les résultats obtenus dans la première série d'analyses indiquent que l'utilisation d'une tâche expérimentale plus exigeante a permis d'obtenir

un effet d'apprentissage plus marqué que celui obtenu dans la première expérience. Les résultats obtenus dans cette série d'analyses permettent aussi de confirmer que l'information visuelle provenant de l'environnement permet à l'individu d'obtenir une meilleure performance que si la seule information visuelle disponible à trait à la localisation spatiale de la cible à atteindre. De fait, la performance observée après 1200 essais d'entraînement pour les sujets qui ne bénéficiaient que de l'information visuelle relative à la localisation de la cible était moins bonne que celle observée pour les premiers essais réalisés alors que l'information visuelle provenant de l'environnement était disponible (i.e.: lors du pré-test). Ces résultats supportent donc ceux obtenus par d'autres chercheurs qui ont démontré que l'information visuelle provenant de l'environnement, autre que celle concernant la localisation de la cible à atteindre, permettait l'obtention d'une performance supérieure (Carlton, 1981b; Hay & Beaubaton, 1985, 1986; Proteau et al., 1987).

La deuxième série d'analyses avait pour objectif de comparer la performance obtenue lors des phases d'acquisition et de transfert. Pour ce qui est du groupe C + E, le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert suite à 200 essais d'entraînement a résulté en une détérioration de la performance aussi bien temporelle que spatiale. Cette diminution de la performance peut sans doute être associée au retrait de la CR. En effet, pour les sujets de ce groupe, c'était là la seule modification qui prenait place entre ces deux phases expérimentales. Lorsque le retrait de la CR survenait après 1200 essais d'entraînement, la performance obtenue en phase de transfert était égale (précision temporelle) ou légèrement supérieure (précision spatiale) à celle obtenue en phase d'acquisition. Ces résultats laissent donc supposer que la CR n'est plus utile, au moins à moyen terme (i.e.: 40 essais), suite à un long

apprentissage⁹. A cet effet, Proteau et al (1987) avaient obtenu des résultats semblables pour des sujets s'étant entraînés 2000 essais en condition C et où la phase de transfert était aussi réalisée dans le même type de condition. La conclusion qui peut être tirée à ce sujet est que le retrait de la CR suite à un long entraînement n'affecte pas la performance si les autres conditions de réalisation de la tâche expérimentale sont maintenues constantes.

Pour ce qui est de la performance obtenue par les sujets du groupe C, il faut noter que le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert permettait d'améliorer la performance sur l'axe des x. Ces résultats sont très semblables à ceux obtenus dans la première expérience et semblent indiquer que l'information visuelle ajoutée lors de la réalisation de la tâche de transfert était utilisée efficacement par le sujet et lui permettait d'améliorer sa performance. Les résultats obtenus pour la précision spatiale sur l'axe des y sont cependant différents. En effet, suite à 200 essais de pratique, une performance identique était notée pour les phases d'acquisition et de transfert. Ici, il semblerait donc que le retrait de la CR a été compensée par l'ajout de l'information visuelle provenant de l'environnement. Après 1200 essais d'entraînement, on note une légère amélioration de la performance en phase d'acquisition lorsque comparée à celle obtenue après 200 essais d'entraînement. Toutefois, le passage à la phase de transfert, là où l'information visuelle autre que celle procurée par la cible devenait disponible a entraîné une détérioration de la performance. Comme le retrait de la CR n'avait pas eu d'impact sur la performance du groupe C + E à ce niveau d'entraînement, on peut supposer que la détérioration de la performance à laquelle il vient d'être fait mention n'a

⁹Il est fort probable que le retrait de la CR ait, à plus long terme, un effet négatif sur la performance.

pas été causée par ce retrait. Ce raisonnement mène donc directement à la conclusion que l'ajout de l'information visuelle, autre que celle associée à la localisation de la cible et suite à un long entraînement où celle-ci n'était pas disponible, entraîne une détérioration de la performance. Par ailleurs ces résultats suggèrent aussi que les sujets tentaient d'utiliser la nouvelle information qui devenait disponible. En effet, si les sujets avaient choisi d'ignorer la nouvelle source d'information on aurait dû obtenir un résultat identique pour les phases d'acquisition et de transfert. Ici, il faut souligner le fait que les résultats obtenus pour l'axe des y sont contraires à ceux obtenus dans la première expérience et à ceux obtenus pour l'axe des x. Cela est peut-être dû à la plus grande difficulté de la tâche sur cet axe du mouvement. Toutefois, avant de conclure définitivement sur ce point, il apparaît important de reproduire les résultats obtenus.

Pour ce qui est de la précision temporelle des réponses des sujets une détérioration de la performance a été observée lors du passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert. Pour ce qui est du groupe C + E, cette détérioration de la performance était présente après 200 essais d'entraînement mais absente après 1200 essais d'entraînement. Des tendances tout à fait opposées étaient remarquées pour les sujets du groupe C. Cette interaction entre le groupe expérimental, la phase expérimentale et la quantité d'entraînement, quoique non-significative, reproduit les résultats obtenus pour la précision spatiale sur l'axe des y. Encore une fois cette détérioration peut être expliquée, tout comme dans la première expérience, par le fait que lors de l'entraînement l'individu développe une représentation sensorio-spatiale du mouvement où les informations proprioceptives et visuelles sont intégrées. Lorsque l'information visuelle est effectivement disponible le couplage entre l'information proprioceptive et l'information visuelle est hautement corrélié ce qui peut permettre à

l'individu d'utiliser les deux sources d'information simultanément pour le contrôle du mouvement et la détection des erreurs. Lorsque la situation d'entraînement ne permet pas d'établir cette intégration de façon effective alors, il se peut que l'individu essaie de corrélérer l'information proprioceptive disponible avec une "image approximative" du mouvement. Ainsi, lorsque le sujet doit réaliser la même tâche en situation de vision complète (situation de transfert), l'image du mouvement ne coïncide pas parfaitement avec la réalité. Tel que vu précédemment il en résulte alors une détérioration de la performance temporelle.

Si l'interprétation des résultats présentés ci-haut est correcte alors, la performance de sujets réalisant la tâche en situation C serait d'autant meilleure qu'ils connaissent bien l'environnement dans lequel ils doivent évoluer. Cette bonne connaissance de l'environnement permettrait aux sujets de développer une image du mouvement qui se rapproche davantage de la réalité d'où résulterait une meilleure performance (Labbs & Simmons, 1981; Marteniuk, 1976). Ceux-ci ont utilisé une tâche de positionnement linéaire dans le cadre d'expériences portant sur l'étude de la mémoire motrice à court terme et ont démontré qu'une position quelconque était mieux retenue lorsque les sujets avaient eu la possibilité de voir la salle d'expérimentation avant la début de l'expérience. Ces auteurs proposaient que les sujets avaient codé la position à retenir en fonction de certains indices disponibles dans la salle d'expérimentation, ce qui se rapproche de l'interprétation proposée dans le présent mémoire. Par ailleurs et de façon plus importante, si une bonne connaissance de l'environnement immédiat permet de développer une image du mouvement qui se rapproche davantage de la réalité, on pourrait aussi prédire que le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert entraînerait une détérioration moindre (ou nulle) de la performance. Cette dernière

proposition est bien supportée par les résultats de précision temporelle présentés par Proteau et al (1987). En effet, ces auteurs ont démontré que le passage d'une condition de type C + E à une de type C, suite à un très long apprentissage dans le premier genre de condition, n'entraînait pas de détérioration de la précision temporelle. On peut donc proposer que l'entraînement en condition C + E a permis aux sujets de développer une bonne image du mouvement, de même que les correspondances qui existent entre les rétroactions proprioceptives et visuelles résultantes de l'exécution du mouvement. Ainsi, lors du passage à la condition C, la réponse est basée sur cette représentation du mouvement, ce qui permet à l'individu de déterminer avec une certaine efficacité où est rendu son bras à un moment précis, d'où le maintien de la précision temporelle. Ces propositions ne sont pour l'instant qu'hypothétiques et demandent à être vérifiées expérimentalement.

Le dernier point auquel s'adressait le présent mémoire avait trait à la spécificité de l'apprentissage. Ce point peut être considéré sous trois aspects différents: (a) la comparaison des résultats obtenus lors du pré-test et des post-tests, (b) la longévité de l'effet obtenu et (c) la grandeur de l'effet obtenu en fonction de la quantité d'entraînement disponible. Le premier aspect de ce point a été introduit dans la section précédente et, les résultats de la comparaison entre les performances obtenus lors du pré-test et des deux post-tests permettent d'élaborer à ce sujet. Les résultats obtenus indiquent que la précision spatiale des sujets du groupe contrôle était identique lors du pré-test et des deux post-tests. Ce résultat était attendu puisque les sujets de ce groupe n'ont pas pratiqué la tâche entre chacune de ces phases expérimentales. Pour ce qui est des sujets du groupe C + E, on note une amélioration de la performance lors du passage du post-test 1 au post-test 2. Cette amélioration n'est significative que sur l'axe des y;

toutefois une forte tendance est aussi observée sur l'axe des x. Cette amélioration de la performance était attendue et reflète l'apprentissage qui a pris place suite à l'entraînement dont les sujets ont bénéficié. Maintenant, pour ce qui est des sujets du groupe C, la performance s'est significativement détériorée sur l'axe des y lors du passage du pré-test à chacun des post-tests; par ailleurs, cette performance s'est légèrement améliorée (non-significatif) sur l'axe des x. Dans ce dernier cas, on ne note cependant qu'une détérioration mineure lors du passage du post-test 1 au post-test 2. Ces résultats indiquent donc que le fait d'avoir pratiqué la tâche sans que l'information visuelle provenant de l'environnement ne soit disponible n'a pas permis d'améliorer la performance (axe des x) ou a même conduit à une détérioration significative de celle-ci lorsque l'information visuelle était disponible. Il apparaît donc que, contrairement à ce qui avait été proposé par MacNeilage et MacNeilage (1987) et par Schmidt (1975, 1982), l'apprentissage est spécifique aux sources d'afférences disponibles lors de la phase d'acquisition. Ainsi, le retrait (Adams *et al.*, 1977) ou l'ajout (Proteau *et al.*, 1987) d'une source d'afférence est susceptible de conduire à une détérioration de la performance; dans le meilleur des cas, l'entraînement réalisé n'aura aucun effet sur la performance.

Pour ce qui est du deuxième aspect de la spécificité de l'apprentissage, il apparaît que la détérioration de la performance notée plus haut persiste au moins à moyen terme. En effet, la détérioration de la performance notée sur l'axe des y était présente pour les quatre blocs d'essais réalisés lors du post-test. Par ailleurs, ces résultats indiquent aussi que la pratique sans CR ne mène pas à une amélioration de la performance. En effet, la performance des sujets du groupe C est demeurée inférieure à celle retrouvée

lors du pré-test¹⁰. Il apparaît donc que si la CR n'est pas disponible la performance demeure déficiente au moins à moyen terme (expérience 2). Il faut cependant noter que si la CR est disponible (expérience 1) cette performance retourne rapidement au niveau de celle observée lors du pré-test. Une explication de cet effet pourrait être que l'individu, lorsque la CR n'est pas disponible, continue à évaluer sa performance de façon subjective (Schmidt, 1975). Dans le cas présent l'évaluation de la performance serait réalisée à partir des performances obtenues alors que la CR était disponible, c'est-à-dire lorsque l'information visuelle provenant du membre et de l'environnement n'était pas disponible. Sur la base de cette comparaison l'individu reconnaîtrait donc sa performance comme étant correcte et, en conséquent, essaierait de reproduire le même mouvement. Encore une fois, ce n'est là qu'une spéculation qui demande à être confirmée expérimentalement.

Pour ce qui est du troisième aspect des résultats ayant trait à la spécificité de l'apprentissage, il apparaît que la grandeur de l'effet d'interférence obtenu n'augmente que très légèrement en fonction du nombre d'essais d'entraînement. En effet, bien que la performance observée lors du post-test 2 soit légèrement inférieure à celle obtenue lors du post-test 1 cette différence n'était pas significative. Ces résultats ne supportent donc que très faiblement ceux présentés précédemment (Adams *et al.*, 1977; Proteau *et al.*, 1987). Il faut cependant noter que dans ces études, le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert était marqué par le retrait d'une source importante de feedback, soit celui provenant de l'information visuelle. Dans le présent mémoire,

¹⁰A l'exception de la performance obtenue pour l'axe des x dans la deuxième expérience. A cet effet, il faut cependant noter que la performance obtenue par les sujets du groupe C lors du pré-test semble anormalement élevée lorsqu'elle est comparée à celle des sujets des groupes C + E et contrôle.

cette source d'information était ajoutée lors du passage à la phase de transfert, ce qui peut permettre d'expliquer la différence notée entre les deux ensembles de résultats. Il se peut donc que la grandeur de l'effet observé dans le présent mémoire soit limité par la disponibilité de l'information visuelle. Une autre possibilité est liée au nombre d'essais d'entraînement utilisés dans les différentes études. Dans l'étude de Adams et al (1977) les sujets avaient bénéficié de 15 ou de 150 essais d'entraînement avant d'être soumis à la tâche de transfert; dans l'étude de Proteau et al (1987) l'entraînement avait été de 200 ou 2000 essais. Ces différences suggèrent que l'effet étudié est de nature logarithmique.

DISCUSSION GENERALE

L'ensemble de ce mémoire était basée sur la théorie du schéma moteur proposée par Schmidt (1975) et la notion de programme moteur généralisé (Schmidt, 1982). De façon plus spécifique, l'intérêt était surtout porté sur la nature de l'information utilisée pour déterminer si la réponse exécutée correspondait à celle qui avait été planifiée. Certains auteurs ont déjà proposé que tôt dans l'apprentissage cette comparaison pouvait impliquer l'utilisation de boucles de feedback relativement longues, dont notamment les boucles de feedback visuel, mais que plus l'apprentissage progressait moins il devenait nécessaire d'utiliser de telles boucles. En effet, on proposait que tard dans l'apprentissage le besoin de recourir à de telles boucles de feedback diminuait à la faveur de l'utilisation de programmes moteurs. Ces propositions ont récemment été mises en doute. En effet, Proteau et al (1987) ont récemment démontré que le retrait de l'information visuelle suite à 2000 essais de pratique engendrait une détérioration de la performance lors d'une tâche d'atteinte. Qui plus est, la détérioration de la performance était plus marquée après 2000 essais de pratique alors que l'information visuelle était

retirée après seulement 200 essais de pratique. Ces résultats ont fait suggérer à ces auteurs que l'information visuelle provenant de l'environnement demeurait très importante même très tard dans l'apprentissage. De fait, on pouvait même proposer que ce qui était appris était spécifique aux sources d'afférences disponibles lors de la période d'entraînement. Ainsi, le retrait d'une des sources d'afférences disponibles lors de l'apprentissage rendait inutilisable ou peu utile la représentation du mouvement qui avait été développée lors de l'apprentissage. L'objectif principal du présent mémoire était de vérifier si le même patron de résultats serait obtenu si une source d'information était ajoutée suite à un long apprentissage où celle-ci était absente. Les résultats obtenus dans les deux expériences qui ont été réalisées ont permis de démontrer que tel était effectivement le cas et une modification des notions principalement développées par Schmidt (1975, 1982) en ce qui a trait à l'apprentissage du mouvement humain est nécessaire.

Schmidt (1975) proposait que lors de l'exécution d'un mouvement, les conséquences sensorielles attendues en fonction des spécifications qui avaient été apportées au schéma moteur étaient comparées aux conséquences sensorielles effectivement obtenues. Il proposait, de plus, que ces conséquences sensorielles étaient intéroceptives et extéroceptives et permettaient à l'individu de déterminer si la réponse avait été exécutée tel que planifiée. Chacune des sources d'afférence était donc comparée à un registre de mémoire qui lui était propre. Tel pourrait effectivement être le cas au début de l'apprentissage. Toutefois, les résultats du présent mémoire et ceux présentés précédemment (Proteau et al, 1987) laissent croire que ce type de fonctionnement pourrait être modifié plus tard dans l'apprentissage. De fait, on pourrait proposer que l'apprentissage d'une tâche motrice consiste à établir les relations

qui existent entre les différentes sources d'information disponibles. Par exemple, en considérant la tâche utilisée dans le présent mémoire, le sujet devait essayer de déterminer où serait son bras dans l'espace à un temps donné. Il s'agit donc, comme le proposait Hein (1974), de faire correspondre la position du bras à un moment précis en fonction de certains indices disponibles dans l'environnement, du corps de l'individu et aussi de déterminer les conséquences sensorielles proprioceptives qui correspondent à cette localisation. Au bout d'un long apprentissage on peut imaginer que des corrélations sont établies entre chacune de ces sources d'informations. Ainsi, l'individu devient capable de prédire où est son bras par rapport à son corps et à l'environnement au bout d'un certain délai, et aussi, quelles sont les conséquences sensorielles proprioceptives associées à cette position. Avec le temps on peut supposer que se développe un système de comparaison très bien intégré et mettant toutes ces sources d'informations en relation. A ce moment, la comparaison entre les conséquences sensorielles attendues et les conséquences sensorielles obtenues n'est plus nécessaire pour chacune des sources d'afférences disponibles. Les résultats présentés laissent plutôt croire que la comparaison est établie entre les différentes sources d'afférences plutôt qu'individuellement pour chacune des sources disponibles. Ainsi, si les informations provenant d'une de ces sources est discordante par rapport aux autres une commande de correction est envoyée au schéma moteur dans le but d'éliminer la discordance.

Lorsqu'une des sources d'afférence disponibles lors de l'apprentissage de la tâche est retirée, le système de comparaison qui a été développé devient inefficace parce que certains des éléments de comparaison utilisés lors du contrôle du mouvement ne sont plus disponibles. C'est ce qui expliquerait pourquoi le retrait d'une des sources de

feedback disponible entraîne une forte détérioration de la performance. Par ailleurs, si cette source d'afférence est retirée tôt dans l'apprentissage, l'effet sur la performance serait moindre parce que l'individu utiliserait encore un mode de contrôle où les comparaisons se font encore "intra-sens". Le retrait d'une source d'afférence n'affecterait alors qu'un seul type de comparaison. Maintenant, lorsqu'une nouvelle source d'afférence est ajoutée on peut penser que l'individu essaie de bâtir à partir de ce qu'il a développé. En effet, la performance continue à être principalement basée sur les sources d'informations disponibles lors de l'apprentissage, ce qui assure un certain niveau de performance. Toutefois, l'individu doit maintenant essayer d'intégrer la nouvelle source disponible. Cette intégration peut demander un travail conscient ce qui permettrait d'expliquer l'effet d'interférence qui a été notée.

Les résultats présentés dans ce mémoire indiquent que l'apprentissage d'une tâche motrice est spécifique aux sources d'afférences disponibles lors de cet apprentissage. Toutefois, plusieurs questions demeurent sans réponse quant à la nature exacte de ce qui est appris lors de l'entraînement. La réponse à ces questions représente un défi intéressant pour les prochaines années.

REFERENCES

- Adams, J. A., Gopher, D., & Lintern, G. (1977). Effects of visual and proprioceptive feedback on motor learning. Journal of Motor Behavior, 9, 11-22.
- Bard, C., Hay, L., & Fleury, M. (1985). Role of peripheral vision in the directional control of rapid aiming movements. Canadian Journal of Psychology, 39, 151-161.
- Carlton, L.G. (1981a). Processing visual feedback information for movement control. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Behavior, 7, 1019-1030.
- Carlton, L.G. (1981b). Visual information: The control of aiming movements. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 33A, 87-93.
- Goodale, M.A., Pélisson, D. & Prablanc, C. (1987). Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement. Nature,
- Hay, L., & Beaubaton, D. (1985). La précision des mouvements rapides dans différentes conditions de contrôle visuel de la main. In M. Laurent and P. Therme (Eds.), Recherches en activités physiques et sportives (1). Aix-Marseille: Centre de recherche de l'U.E.R.E.P.S.
- Hay, L., & Beaubaton, D. (1986). Visual correction of a rapid goal-directed response. Perceptual and Motor Skills, 62, 51-57.

Hein, A. (1974). Prerequisite for development of visually guided reaching in the kitten.

Brain Research, 71, 259-263.

Henry, F. M. (1975). Absolute error versus E in target accuracy. Journal of Motor

Behavior, 7, 227-228.

Keele, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. Psychological

Bulletin, 70, 387-403.

Keele, S.W. (1981). Behavioral analysis of movement. In V. Brooks (Ed.), Handbook

of Physiology: The nervous system. Volume 2: Motor control. Baltimore:

American Physiological Society.

Keele, S. W. (1986). Motor control. Dans K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas

(Eds.), Handbook of perception and human performance. Volume 2: Cognitive

processes and performance. New York: Wiley.

Labbs, G. J., & Simmons, R.W. (1981). Motor memory. Dans D. Holding (Ed.),

Human Skills. New York: Wiley.

Marteniuk, R. G. (1976). Information processing in motor skills. New York: Holt,

Rinehart and Winston.

MacNeilage, P. F., & MacNeilage, L. A. (1973). Central processes controlling speech

production in sleep and waking. Dans F. J. McGuigan (Ed.), The

psychophysiology of thinking. New York: Academic Press.

- Pélisson, D., Prablanc, C., Goodale, M.A., & Jeannerod, M. (1986). Visual control of reaching movements without vision of the limb. II. Evidence of fast unconscious processes correcting the trajectory of the hand to the final position of a double-step stimulus. Experimental Brain Research, 62, 303-311.
- Posner, M.I., Nissen, M.J., & Klein, R.M. (1976). Visual dominance: An information-processing account of its origin and significance. Psychological Review, 83, 157-171.
- Proteau, L., Marteniuk, R. G., Girouard, Y., & Dugas, C. (1987). On the type of information used to control and learn an aiming movement after moderate and extensive training. Human Movement Science, 6, pages indéterminées.
- Proteau, L., Marteniuk, R. G., & Lévesque, L. (1987). On the utility of visual information about the ongoing limb in an aiming task and the specificity of what is learned after moderate and extensive training. Communication présentée au congrès annuel de la North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity. Vanvouver, juin 1987.
- Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results: A review and critical reappraisal. Psychological Bulletin, 95, 355-386.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, 82, 225-260.
- Schmidt, R.A. (1982). Motor control and learning: A behavioral emphasis. Champaign, IL: Human Kinetics.

- Smith, W.M., & Bowen, K.F. (1980). The effects of delayed and displaced visual feedback on motor control. Journal of Motor Behavior, 12, 91-101.
- Smyth, M.M. (1977). The effect of visual guidance on the acquisition of a simple motor task. Journal of Motor Behavior, 9, 275-284.
- Smyth, M.M. (1978). Attention to visual feedback in motor learning. Journal of Motor Behavior, 10, 185-190.
- Winer, B. J. (1971). Statistical principles in experimental design, second edition. New York: McGraw-Hill.
- Zelaznik, H.N., Hawkins, B., & Kisselburgh, L. (1983). Rapid visual feedback processing in single-aiming movements. Journal of Motor Behavior, 15, 217-236.