

2M11-2646-2

Université de Montréal

Spécificité de la pratique et dominance sensorielle :
Rôle des informations visuelles pour la précision spatiale de
la marche de précision, du 'powerlift squat' et de l'interception de balles.

par

Luc Tremblay

Département de kinésiologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M.Sc.)

en kinésiologie

juillet, 1998

©Luc Tremblay, 1998



G. 0436.1116

GV
201
U54
1998
V.012

Université de Montréal

Spécialité de la politique et des relations internationales

Rôle des institutions régionales dans la promotion de la

la marche de la politique, du pouvoir et de l'intégration de l'Asie

par
le
1 de l'année

Économie régionale

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maîtrise en sciences (M.Sc.)

en économie

juin 1998

État de l'Asie, 1998



Identification du jury

Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Spécificité de la pratique et dominance sensorielle :

Rôle des informations visuelles pour la précision spatiale de
la marche de précision, du 'powerlift squat' et de l'interception de balles

présenté par :

Luc Tremblay

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Claude Alain, membre du jury

Luc Léger, président rapporteur

Luc Proteau, directeur de recherche

Mémoire accepté le : 07.09.1998

Sommaire

Le but du présent mémoire est de déterminer le rôle des afférences visuelles pour contrôler certaines tâches motrices, et ce, en fonction de la quantité de pratique. D'une part, les modèles théoriques d'Adams (1971), Schmidt (1975) et de Abbs, Gracco et Cole (1984) ne s'entendent pas quant au rôle joué par les afférences pour le contrôle du mouvement en fonction de l'expertise d'un individu face à une tâche motrice. D'autre part, plusieurs études utilisant une tâche de pointage manuel (Proteau, Marteniuk, Girouard et Dugas, 1987 ; Proteau et Cournoyer, 1990 ; Proteau, Marteniuk et Lévesque, 1992) ont permis à Proteau (1992) de proposer l'hypothèse de la spécificité de la pratique (HSP). Cette hypothèse prévoit qu'une modification des sources d'afférence disponibles lors de la pratique d'une tâche motrice devrait mener à une diminution de la performance. De plus, cette hypothèse propose que cette baisse de performance soit fonction de la quantité de pratique préalable au transfert. L'objectif du présent mémoire est de déterminer l'à-propos de l'HSP pour des tâches de marche de précision, de 'powerlift squat' et d'interception de balles.

Au cours de l'étude sur la marche de précision, nous avons utilisé quatre groupes de participants répartis selon deux niveaux de pratique (20 et 100 essais d'acquisition) et deux conditions de vision (VC : vision complète, et NV : non-vision). Suite à cette phase d'acquisition, tous les participants ont fait la même tâche sous la condition NV pour 20 essais sans connaissance du résultat (CR). Les résultats indiquaient que les participants

ayant pratiqué la tâche dans la condition VC ont souffert du retrait des afférences visuelles tandis que les participants ayant pratiqué la tâche dans la condition NV n'ont pas été affectés par le du retrait de la CR. De plus, lors du transfert, les participants du groupe VC ayant réalisé 100 essais d'acquisition ont obtenu des performances moindres que ceux ayant pratiqué la tâche pour 20 essais dans la même condition. Donc, il semble que l'apprentissage de cette tâche soit spécifique aux sources d'afférence disponibles lors de l'acquisition.

Lors de l'étude sur le 'powerlift squat', nous avons combiné deux niveaux de pratique (20 et 100 essais d'acquisition) et trois conditions d'acquisition (NV : non-vision, VC : vision complète, Laser : vision assistée d'un faisceau laser) pour former six groupes expérimentaux. Pour le groupe Laser, nous avons utilisé un dispositif de fabrication domestique qui permettait aux participants de déterminer visuellement la position optimale de descente (cuisse légèrement sous l'horizontale) pour cette tâche sportive. Suite à l'acquisition, les participants étaient soumis à une tâche de transfert sous la condition NV pour 20 essais sans CR. Les résultats de cette étude indiquaient que les participants des groupes NV et VC réalisaient la tâche avec un même niveau de précision lors du test de transfert. De plus, le passage de la condition VC à la condition de transfert n'a pas affecté les performances spatiales de ce groupe, peu importe le nombre d'essais d'acquisition. Ce résultat suggère que les informations normalement disponibles lors de la pratique de cette tâche (i.e. VC) n'ajoutent rien comparativement à une situation où le contrôle du

mouvement est uniquement assuré par la proprioception (i.e. NV). Cependant, l'ajout d'une source d'afférence qui guide artificiellement le participant (i.e. condition Laser) améliore la performance lors de l'acquisition. De plus, la performance des participants devient spécifique à la disponibilité de cette source d'information. En effet, le retrait du guide visuel que représente le faisceau laser a résulté en une forte détérioration de la performance des participants lors de la phase de transfert. L'ensemble de ces résultats suggère que l'apprentissage n'est pas spécifique à toutes les sources d'afférence disponibles lors de la pratique mais seulement à celles qui favorisent une performance optimale.

Finalement, pour l'interception de balles, deux groupes de participants ont réalisé huit phases expérimentales. Un groupe faisait l'acquisition en vision complète (VC) tandis que l'autre groupe était soumis à une condition où seule la balle était visible (VB). De plus, deux types de transfert étaient établis. Le premier transfert se faisait dans la condition VB, et ce, sans CR. Le second transfert était semblable au premier, mais les trajectoires de balles étaient plus variables que celles utilisées lors de l'acquisition ou du premier transfert. Les mêmes participants étaient soumis aux deux niveaux de pratique. Ainsi, les participants faisaient 50 essais d'acquisition avant de réaliser les deux tests de transfert puis réalisaient 400 essais d'acquisition supplémentaires avant de refaire les deux tests de transfert. Les résultats obtenus suggèrent que la vision de la main et de l'environnement ambiant sont nécessaires pour l'obtention d'une performance optimale.

En effet, leur présence permet d'obtenir une meilleure précision spatiale d'interception que lorsque seule la balle est visible (VB vs. VN en acquisition) tandis que leur retrait engendrait une diminution de la précision spatiale d'interception (VN lors du passage vers la condition de transfert-vision).

En somme, les afférences visuelles permettent généralement aux individus de présenter une précision spatiale supérieure, et ce, peu importe la tâche considérée. Toutefois, il appert que des sources d'afférence différentes soient dominantes pour le contrôle du mouvement en fonction des tâches considérées. Lorsque la source d'afférence dominante d'une tâche est manipulée, l'HSP (Proteau, 1992) est confirmée.

Table des matières

Page titre.....	i
Identification du jury.....	ii
Sommaire.....	iii
Table des matières.....	vii
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures.....	xi
Liste des abréviations.....	xiii
Introduction générale.....	1
Aperçu des principaux modèles théoriques.....	1
Modifications des sources d'afférence prioritaires en fonction de la pratique.....	6
Diminution du rôle des afférences en fonction de la pratique pour le contrôle du mouvement.....	8
L'hypothèse de la spécificité de la pratique.....	12
Des propositions supportant l'HSP.....	13
HSP et pointage manuel.....	15
HSP et activités sportives.....	22
Méthodologie des travaux confirmant et de ceux infirmant l'HSP.....	25
Intérêts particuliers du présent mémoire.....	27

Marche de précision.....	29
Abstract.....	30
Introduction.....	31
Method.....	40
Subjects.....	40
Procedures.....	41
Results.....	42
Acquisition phase.....	42
Acquisition vs. Transfer.....	44
Discussion.....	45
References.....	51
Authors Note.....	55
Footnote.....	56
Figures Captions.....	57
Figure 1.....	58
Figure 2.....	59
‘Powerlift squat’.....	60
Introduction.....	61
Method.....	66
Results.....	70
Acquisition.....	70
Transfer.....	71
Discussion.....	72
References.....	77
Authors’ Note.....	79
Figure captions.....	80
Figure 1.....	81

Interception de balles.....	82
Résumé.....	83
Introduction.....	84
Participants.....	92
Tâche et appareillage.....	93
Procédures.....	95
Résultats.....	97
Discussion.....	101
Références.....	107
Tableau 1.....	111
Liste des figures.....	112
Figure 1.....	113
Figure 2.....	114
Figure 3.....	115
Conclusions générales.....	116
Références.....	122
Remerciements.....	129

Liste des tableaux

Étude 3 (l'interception de balles):

Tableau 1: Corrélation entre l'amplitude du mouvement à produire et l'erreur spatiale

absolue produite (par participants et par groupe) lors du TrT.....113

Liste des figures

Étude 1 (Marche de précision):

Figure 1: Erreur quadratique moyenne (en mètres) sur l'aspect spatial de la tâche en fonction de la pratique dans la condition de non-vision: panneau du haut (20 essais d'acquisition), panneau du bas (100 essais d'acquisition).....	60
Figure 2: Erreur quadratique moyenne (en mètres) sur l'aspect spatial de la tâche en fonction de la condition de vision, du niveau de pratique et des blocs d'essais réalisés au transfert.....	61

Étude 2 ('Powerlift Squat'):

Figure 1: Erreur quadratique moyenne de positionnement (en degrés) en fonction des conditions de pratique, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	82
---	----

Étude 3 (Interception de balles):

Figure 1: Erreur quadratique moyenne spatiale (en cm) lors de l'interception de balles en fonction des conditions d'acquisition, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	129
Figure 2: Erreur constante temporelle (en millisecondes) lors de l'interception de balles en fonction des conditions d'acquisition, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....	130

Figure 3: Erreur variable temporelle (en millisecondes) lors de l'interception de balles en fonction des conditions d'acquisition, des phases expérimentales et des blocs d'essais.....131

Liste des abréviations

cm: centimètre

CR, KR: connaissance du résultat

EC, CE: erreur constante

EQM, RMSE: erreur quadratique moyenne

EV, VE: erreur variable

FIG : fédération internationale de gymnastique

HSP: hypothèse de la spécificité de la pratique

mm: millimètre

ms: milliseconde

NV: non-vision

P: proprioception

PMG: programme moteur généralisé

s: seconde

TM, MT: temps de mouvement

V: vision

VA, AV: vision ambiante

VAV: vision avant du début du geste

VAP: vision après la réalisation du geste

VC, FV: vision complète

Nous devons réaliser une multitude de tâches motrices afin de satisfaire nos besoins. Notre système nerveux est sollicité afin d'effectuer ces mouvements. Certaines informations entrent dans ce système par l'intermédiaire des sens et d'autres en ressortent sous forme de mouvements effectués grâce à des contractions musculaires. L'objectif général de ce mémoire est de déterminer comment un individu utilise les différentes sources d'afférence disponibles pour guider un geste quelconque, et ce, en fonction de son expertise face à ce geste. D'abord, nous aborderons certaines considérations théoriques découlant des modèles contemporains du contrôle moteur humain. Nous reverrons ensuite les principaux travaux reliés au rôle des afférences visuelles pour le contrôle du mouvement avant de passer à la partie expérimentale de ce mémoire.

Aperçu des principaux modèles théoriques

Les modèles théoriques présentés ici tentent de décrire, selon une approche cybernétique, comment les afférences sont traitées pour assurer la précision d'une tâche motrice. Aucun de ceux-ci ne rend complètement justice à la complexité du traitement cognitif humain, mais ils nous aident grandement à sa compréhension.

Adams (1971) proposa un modèle des apprentissages moteurs centré sur la réduction de l'erreur. Les éléments clés de ce modèle sont les mécanismes de détection et de correction des erreurs. La rétroaction disponible lors de la pratique résulterait en la formation de traces de mémoire. La première est la trace mnémonique ; elle permet

l'amorce d'un geste. Elle permettrait de retrouver et de sélectionner la référence associée au geste que l'on veut réaliser en se basant sur les expériences antérieures. Ces expériences seraient à l'origine de la formation de la trace perceptuelle. Plus spécifiquement, cette seconde trace de mémoire se développerait à partir des afférences reçues lors de l'exécution antérieure du geste dans les mêmes conditions. Elle constituerait, en fait, une copie des afférences associées à la réalisation du geste 'choisi' par la trace mnémonique. Les informations sensorielles obtenues pendant l'exécution du mouvement y seraient comparées en cours d'exécution afin d'assurer la justesse de la réponse produite. On peut donc comprendre de cette théorie que le contrôle du mouvement humain nécessiterait une utilisation considérable des informations afférentes, et ce, peu importe la quantité de pratique effectuée. Cependant, deux critiques ont été formulées envers ce modèle (Schmidt, 1975).

D'abord, les traces mnémonique et perceptuelle d'un geste seraient développées à partir des expériences antérieures de l'individu dans les mêmes conditions. On peut alors se demander comment un individu pourrait amorcer et contrôler l'exécution d'un geste qu'il n'a jamais produit auparavant. De plus, ce modèle implique le remisage d'une trace mnémonique et d'une trace perceptuelle pour chacun des gestes que l'on peut faire. D'un point de vue conceptuel, il semble que les capacités de remisage du système nerveux central (SNC) seraient éventuellement atteintes.

Pour résoudre certains des problèmes soulevés ci-haut pour le modèle d'Adams (1971), Schmidt (1975) a introduit le concept du programme moteur généralisé. Au lieu de faire appel à une trace mnémonique et à une trace perceptuelle différente pour chaque geste, Schmidt (1975) proposa plutôt que la pratique permettrait le développement d'un patron global du mouvement appelé programme moteur généralisé (PMG). Ce PMG permettrait la réalisation d'une variété de mouvements partageant plusieurs caractéristiques communes (par exemple: lancer par-dessus l'épaule). Toutefois, trois caractéristiques d'un même PMG seraient fixes : la séquence, l'intensité relative et la durée relative des contractions musculaires. Avant chaque essai, l'individu n'aurait qu'à préciser les éléments particuliers relatifs à la situation à laquelle il fait face (par exemple: distance du lancer, angle d'envol, poids de l'objet, ...). De plus, un PMG serait constitué de deux entités propres : le schéma de rappel et le schéma de reconnaissance.

Le schéma de rappel se développerait par la mise en relation de quatre sources d'information : les conditions initiales, l'objectif poursuivi, les spécifications motrices, et le résultat obtenu. Ce schéma de rappel permettrait, avec la pratique, de paramétrer plus efficacement le PMG. En fait, l'individu deviendrait de plus en plus habile à déterminer les commandes motrices les plus susceptibles de lui permettre d'atteindre son objectif. Le schéma de reconnaissance se développerait, lui aussi, en fonction de la pratique. Il permettrait à l'individu d'anticiper les conséquences sensorielles associées à la réalisation correcte du geste planifié. Il se développerait par la mise en relation de

d'information : les conditions initiales, l'objectif poursuivi, les conséquences sensorielles attendues et le résultat obtenu. Ainsi, lors de l'exécution d'un mouvement, l'individu pourrait comparer les conséquences sensorielles attendues aux conséquences sensorielles anticipées sur la base du schéma de reconnaissance.

Schmidt (1975) propose que l'utilité du schéma de reconnaissance serait décroissante en fonction de la pratique étant donné la qualité croissante du schéma de rappel. Ainsi, avec la pratique, les réponses seraient de mieux en mieux programmées et, par conséquent, le besoin de corrections en cours de mouvement deviendrait de plus en plus rare, impliquant un rôle décroissant des informations afférentes pour le contrôle du mouvement. Ce modèle implique que la pratique résulte dans le passage d'un mode de contrôle du mouvement en boucle fermée vers un mode en boucle ouverte. Ce point de vue est cependant loin de faire l'unanimité.

Abbs, Gracco et Cole (1984) ont présenté un modèle du contrôle du mouvement humain basé sur les résultats d'études utilisant un paradigme de perturbation. Ces auteurs ont remarqué que si un geste était perturbé mécaniquement pendant sa réalisation, les participants parvenaient néanmoins à atteindre l'objectif poursuivi. Abbs et al. (1984) proposent que deux types de corrections étaient apportées au mouvement en cours d'exécution.

Le premier type de correction, dit autogène, prenait place au niveau du groupe musculaire qui était directement affecté par la perturbation. En même temps, d'autres

corrections prenaient place au niveau de structures qui n'avaient subi aucune perturbation directe. Ce type de correction, dit non-autogène, distribuerait la correction du geste vers les différents groupes musculaires impliqués dans la réalisation du mouvement. Ces deux types de corrections mettent en évidence le rôle des informations afférentes pour le contrôle du mouvement. D'une part, la rétroaction permet à l'individu d'évaluer l'écart qui existe entre le but visé et l'état actuel du système moteur. D'autre part, cette évaluation permet de déterminer les ajustements autogènes et non-autogènes requis pour que le but visé soit atteint. En fonction de la pratique, les corrections seraient de plus en plus efficaces grâce à une meilleure calibration sensorimotrice. Ainsi, les impacts présents et futurs de la perturbation seraient de mieux en mieux évalués et l'individu parviendrait plus facilement à déterminer les corrections appropriées. Ce modèle rejette donc l'idée que la pratique mène au développement d'un mode de contrôle en boucle ouverte. Au contraire, il propose un traitement constant des afférences tout au long de la pratique.

En résumé, les modèles brièvement revus ci-haut tiennent tous compte des afférences sensorielles. Ainsi, l'un d'eux prédit un rôle décroissant de ces informations en fonction de la pratique (Schmidt, 1975) alors que les deux autres prédisent un rôle important des afférences tout au cours de la pratique (Adams, 1971 ; Abbs et al., 1984). Toutefois, aucun de ces modèles ne stipule s'il est possible qu'une dominance sensorielle quelconque s'établisse en fonction de la pratique. Les études présentées à la section suivante nous renseignent à ce sujet.

Modifications des sources d'afférence prioritaires en fonction de la pratique

Fleishman et Rich (1963) ont utilisé un paradigme de transfert inter-tâches afin de déterminer le type d'information afférente utilisé en fonction de la pratique. La tâche principale, de coordination visuo-manuelle, consistait à maintenir une bille sur un disque. Les participants ont réalisé cette tâche pour 10 blocs de 4 essais: chaque essai durait une minute. Les résultats obtenus pour cette tâche étaient comparés à ceux obtenus dans deux tâches secondaires. La première tâche secondaire exigeait du participant qu'il associe une photo prise à l'intérieur d'un avion à une image qui représentait l'avion dans la même position mais photographiée de l'extérieur. Les auteurs supposaient que la performance à cette tâche nous renseignait sur les aptitudes d'orientation visuo-spatiales des participants. L'autre tâche secondaire en était une de discrimination kinesthésique. Elle exigeait du participant qu'il identifie, les yeux fermés, dans laquelle de ses mains se situait le cylindre le plus lourd d'une paire.

Les résultats de chacun des blocs d'essais à la tâche principale ont été comparés aux résultats obtenus pour les tâches secondaires. La corrélation entre la tâche d'orientation spatiale et celle de coordination visuo-manuelle diminuait en fonction de la pratique (0.36 à 0.01) ; on observait l'inverse entre la tâche de discrimination kinesthésique et celle de coordination visuo-manuelle (0.03 à 0.40). Les auteurs ont interprété ces résultats en suggérant que les afférences visuelles étaient plus importantes pour l'obtention d'une bonne performance au début de la pratique. Toutefois, en fonction

de la pratique, cette importance relative diminuerait au profit des afférences proprioceptives. Fleishman et Rich (1963) proposaient que tel était le cas parce que les afférences visuelles étaient traitées de façon prioritaire en début de pratique afin de corriger les erreurs grossières. Pour leur part, les afférences proprioceptives permettraient des fins ajustements moteurs tard dans la pratique. Ce point de vue suggère que la source d'afférence prioritaire pour le contrôle du mouvement diffère selon le niveau de pratique. Toutefois, cette étude souffre de plusieurs faiblesses.

Premièrement, il faut noter qu'il est assez difficile de déterminer en quoi la tâche visuo-spatiale utilisée par les auteurs nous informe sur le rôle des afférences visuelles pour le contrôle du mouvement en temps réel. Deuxièmement, les coefficients de corrélation calculés entre les différentes tâches sont très faibles et, dans le meilleur des cas, n'expliqueraient que 16 % de la variance totale. Troisièmement, le nombre d'essais de pratique réalisés par les participants était très limité et nous renseigne peu sur les sources d'afférence utilisées après beaucoup de pratique. Dans la même veine, la performance absolue des participants à chacune des tâches expérimentales n'a pas été rapportée par les auteurs et il est difficile de juger du niveau d'expertise des participants.

Étant donné les faiblesses de l'étude de Fleishman et Rich (1963), Cox et Walkuski (1988) ont récemment tenté de reproduire les résultats obtenus par ces auteurs. Cox et Walkuski (1988) ont d'abord évalué la discrimination kinesthésique des participants à l'aide de tâches de positionnement linéaire et angulaire et de discrimination de poids.

Ensuite, ils ont tenté de déterminer si les participants qui avaient une bonne discrimination kinesthésique avaient de bonnes performances dans la réalisation de deux tâches de coordination visuo-manuelle (poursuite circulaire et lancer de balle). Les participants réalisaient 30 essais de pratique d'une durée de 20 secondes chacun pour la tâche de poursuite visuo-manuelle et 225 lancers pour la tâche de lancer de précision. Les résultats pour les tâches de positionnement linéaire, angulaire et de discrimination de poids étaient corrélés à ceux obtenus pour les tâches de coordination visuo-manuelle. Cox et Walkuski (1988) n'ont noté aucune association significative entre les tâches de coordination visuo-manuelle et celles de discrimination kinesthésique, et ce, peu importe le bloc d'essais. Ces résultats contredisent ceux de Fleishman et Rich (1963) et suggèrent que les sources d'afférence qui assurent la précision du mouvement sont les mêmes tôt et plus tard dans la pratique. Toutefois, lorsque la pratique entraîne le développement d'un PMG, on peut se demander si la paramétrisation de celui-ci peut devenir tellement précise que les afférences ne sont plus nécessaires au contrôle du mouvement. Cette problématique est abordée dans la prochaine section.

Diminution du rôle des afférences en fonction de la pratique pour le contrôle du mouvement

Pew (1966) a voulu déterminer le rôle des afférences visuelles pour le contrôle du mouvement en fonction de la pratique en utilisant une tâche de coordination visuo-manuelle. Les participants devaient maintenir, au centre d'un écran cathodique, un curseur

qui se déplaçait de façon imprévisible. Le déplacement du curseur pouvait être modifié par le participant. Ainsi, le curseur pouvait être accéléré sur la gauche lorsque le participant poussait sur un bouton avec sa main gauche. Au contraire, le curseur était accéléré sur la droite lorsque le participant poussait un bouton à l'aide de sa main droite. Les participants avaient de la difficulté à maintenir le curseur près du centre de l'écran au début de la phase d'acquisition. Cependant, après quinze heures de pratique, les participants maintenaient un écart absolu moyen entre le curseur et le centre de l'écran nettement inférieur à celui trouvé au début de l'acquisition. De plus, le temps s'écoulant entre deux commandes successives du participant pour modifier le comportement du curseur était de 458 ms à la première heure de pratique et diminuait à 292 ms lors de la quinzième heure de pratique. En se basant sur les données disponibles à l'époque et qui suggéraient que le temps de traitement des afférences visuelles était de 450 ms, Pew (1966) proposa que la pratique permettait de passer d'un mode de contrôle du mouvement en boucle fermée à un mode de contrôle en boucle ouverte. Cependant, des évidences expérimentales récentes jettent un doute sur cette conclusion puisque le temps de rétroaction visuo-manuelle est maintenant évalué à 100-125 ms (voir Carlton, 1992 pour une revue). Les résultats obtenus par Pew (1966) pourraient plutôt indiquer que la pratique réduit le temps requis pour traiter de façon efficace les afférences visuelles disponibles pour le contrôle du mouvement (Abrams et Pratt, 1993 ; Proteau, 1992). Cependant, Pew (1966) ne fut pas le seul à proposer que

la pratique engendre le passage d'un mode de contrôle en boucle fermée vers un mode de contrôle en boucle ouverte.

Schmidt et McCabe (1976) ont voulu déterminer si un geste pouvait être exécuté avec précision sans l'aide d'information visuelle. Les participants devaient produire un mouvement de 61 cm à partir d'une position de départ fixe. Un essai débutait lorsque l'aiguille d'une horloge était mise en mouvement par l'expérimentateur. Le participant devait regarder le déplacement de l'aiguille pour 1.25 secondes avant d'amorcer son mouvement et ensuite atteindre la cible visée en même temps que l'aiguille atteignait la position 2.0 secondes. Les participants ont bénéficié de cinq jours de pratique. Au début de chaque session, les participants réalisaient 50 essais de pratique pour apprendre le temps de mouvement (seulement 10 essais pour les jours 2 à 5) et 200 essais de pratique de plus à la tâche principale. Schmidt et McCabe (1976) proposaient que la pratique mènerait au développement d'un PMG qui résulterait en une augmentation de la corrélation retrouvée entre l'amorce du mouvement et le temps de mouvement (temps compris entre l'amorce du geste et l'atteinte de la cible), et ce, pour chacun des participants. Donc, avec la pratique, un geste débutant avant que l'aiguille de l'horloge atteigne 1.25 sec. se terminerait avant que l'aiguille atteigne 2.00 secondes, et vice-versa. D'autre part, le développement d'un PMG se traduirait par un usage décroissant des afférences sensorielles. Ainsi, la pratique résulterait en un mouvement de pointage manuel de plus en plus stéréotypé. Les résultats obtenus supportaient l'hypothèse de Schmidt et

McCabe (1976) qui concluaient que les participants présentaient une importante diminution de l'utilisation des informations afférentes en fonction de la pratique.

Toutefois, la prémisse de base de cette étude peut maintenant être contestée. En effet, de récentes évidences expérimentales permettent de proposer que plus de 90 % des gestes de précision présentent une ou plusieurs corrections en cours d'exécution (Abrams et Pratt, 1993). Ainsi, même si le geste présente une stabilité d'exécution temporelle, cela n'exclue pas un usage important des afférences. Il existe cependant d'autres évidences expérimentales qui proposent qu'une tâche bien apprise ne nécessite aucune information afférente.

Lashley (1917) a rapporté qu'un participant adulte ayant subi une rhizotomie dorsale accidentelle pouvait déplacer sa jambe aussi précisément qu'un participant contrôle, et ce, même si sa blessure 'bloquait' les afférences proprioceptives normalement disponibles. Dans la même veine, Polit et Bizzi (1978) ont réalisé des rhizotomies dorsales sur des singes et ces derniers étaient en mesure de reproduire un geste appris préalablement à l'opération avec autant de précision, et ce, sans aucune afférence visuelle. Toutefois, il faut être prudent avant de conclure à un contrôle du mouvement en boucle ouverte.

D'abord, il est reconnu que la majorité des fibres afférentes passent par la racine dorsale de la colonne vertébrale. Toutefois, certains auteurs ont aussi relevé l'existence des fibres afférentes dans la racine ventrale du rachis des primates (voir McCloskey &

Prochazka, 1994). Ainsi, il est possible que l'information proprioceptive véhiculée par ces fibres est suffisante pour permettre l'exécution de gestes déjà acquis. Par conséquent, il est impossible de déterminer à l'aide d'une technique de déafférentation si l'exécution d'un mouvement bien appris est réalisée en boucle ouverte.

L'hypothèse de la spécificité de la pratique

L'hypothèse de la spécificité de la pratique (HSP, Proteau, 1992) propose qu'un individu qui apprend une tâche sous certaines conditions d'afférence ne sera en mesure de fournir une performance optimale que sous ces conditions particulières. De plus, cette spécificité s'accroîtrait en fonction de la quantité de pratique initiale.

Ces prédictions ont des répercussions pratiques sur une foule d'activités. Un exemple peut être proposé avec le tir à l'arc. L'utilisation d'un appareil fixé sur l'arc et projetant un faisceau laser a fait son apparition sur le marché. Cet appareil est utilisé pour prédire le point d'arrivée d'une flèche. Plusieurs archers utilisent ce type d'appareil lors de leurs entraînements. Sachant que cet appareil est interdit en compétition, est-il justifié de l'utiliser lors des entraînements? L'HSP suggère qu'en compétition, le retrait de l'appareil résulterait en une performance moindre qu'avec un entraînement bien structuré sans celui-ci. Cette proposition n'a jamais été supportée lors d'études sur le tir à l'arc mais plusieurs études supportant cette position seront revus dans les quelques pages qui suivent.

Des propositions supportant l'HSP

Adams, Goetz et Marshall (1972) ont fait pratiquer des participants à déplacer un chariot sur une distance de 25.4 cm. Les participants étaient répartis dans huit groupes différenciés par la quantité de pratique et les sources d'afférence disponibles lors de cette pratique. Les sources d'afférence manipulées étaient : la proprioception (un ressort pouvait s'opposer au déplacement du chariot et, selon ces auteurs, augmenter les afférences disponibles), la vision, et l'audition (un bruit blanc pouvait empêcher le participant d'entendre le son produit par le déplacement du chariot). Les conditions de pratique étaient en mode d'afférences augmentées ou en mode d'afférences minimales. En mode augmenté, les participants bénéficiaient de la vision normale, pouvaient entendre le glissement du chariot et un ressort s'opposait au déplacement du chariot. En mode minimal, les participants devaient réaliser la tâche sans vision, sans le ressort qui s'opposait au déplacement du chariot et le bruit produit par son déplacement était inaudible. Les participants réalisaient 15 ou 150 essais d'acquisition sous l'une ou l'autre de ces conditions d'afférence et chaque essai était suivi d'une CR. Suite à cette acquisition, tous les participants réalisaient un test de transfert sans CR. Pour ce test, deux groupes conservaient les mêmes sources d'afférence que durant l'acquisition (minimal-minimal et augmenté-augmenté) tandis que les sources d'afférence étaient augmentées ou diminuées pour les deux autres groupes (minimal-augmenté ou augmenté-minimal). Durant l'acquisition, tous les groupes ont amélioré leur performance en fonction du nombre

d'essais de pratique. De plus, les groupes bénéficiant d'afférences augmentées étaient plus précis que ceux pratiquant la tâche sous la condition d'afférences minimales. Au transfert, les participants dont la condition d'afférence était modifiée (augmentée ou diminuée) ont subi une diminution significative de leur performance. Ces résultats indiquent que le retrait, ou même l'ajout, d'une source d'afférence mène à une diminution de la performance¹. De plus, Adams et al. (1972) ont noté que les effets négatifs associés à une modification des sources d'afférence avaient tendance ($p = 0.07$) à s'accroître en fonction de la quantité de pratique avant le transfert, ce qui suggérerait une augmentation de la spécificité des apprentissages en fonction de la pratique. De façon certaine, cette étude suggère que le rôle des afférences pour le contrôle du mouvement ne diminue pas en fonction de la pratique et que l'apprentissage est spécifique aux afférences disponibles lors de l'acquisition.

Adams, Gopher et Lintern (1977) ont utilisé un protocole expérimental semblable à celui d'Adams et al. (1972) dans le but d'isoler le rôle relatif de la vision et de la proprioception pour le contrôle d'un mouvement de pointage. Ainsi, plutôt que de modifier toutes les sources d'afférence disponibles lors du passage de l'acquisition au

¹ Les résultats obtenus par Adams et al. (1972) peuvent aussi être interprétés sous un autre jour. Ainsi, la phase d'acquisition a permis aux participants d'apprendre à effectuer un déplacement de longueur fixe. La théorie du point d'équilibre (voir Latash, 1993) prédit, elle aussi, une augmentation de l'erreur de positionnement lors de l'ajout ou du retrait de la tension qui s'oppose au déplacement du chariot. L'interprétation des résultats sous ce jour est cependant de nature mécanique et ne sera pas considérée dans ce mémoire. Qui plus est, des données récentes jettent un sérieux doute sur la théorie du point d'équilibre (Vindras et Viviani, 1998).

transfert, seule la vision (V), la proprioception (P) ou ces deux sources d'afférence (P+V) étaient modifiées. Encore une fois, les participants réalisaient 15 ou 150 essais d'acquisition avec CR avant de réaliser les tâches de transfert. Les résultats obtenus étaient très semblables à ceux présentés ci-haut (Adams et al., 1972). D'abord, les groupes ne changeant pas de condition d'afférence de l'acquisition au transfert n'ont pas montré de modification significative de leur performance entre l'acquisition et le transfert. De plus, le retrait des informations visuelles (V ou P+V) a mené à une importante diminution de la performance pour les groupes ayant pratiqué la tâche pendant 150 essais tandis que ce ne fut pas le cas pour ceux qui ont bénéficié de 15 essais de pratique. Ces résultats supportent l'hypothèse de la spécificité de la pratique.

HSP et pointage manuel

Proteau, Marteniuk, Girouard et Dugas (1987) demandaient à leurs participants de produire un geste d'atteinte manuelle (90 cm) vers une cible fixe à l'intérieur d'une bande temporelle prédéterminée ($550 \text{ ms} \pm 10\%$). Chacun des 200 ou des 2000 essais d'acquisition était suivi d'une CR autant sur la composante temporelle que sur la composante spatiale du mouvement. Cette phase d'acquisition, réalisée en condition de vision normale ou alors que seule la cible était visible, était suivie d'une phase de transfert sans CR. Dans tous les cas, seule la cible à atteindre était visible lors du transfert.

Les résultats indiquent que, lors de l'acquisition, les participants qui ont bénéficié de la vision complète étaient plus précis que les participants qui ont pratiqué en condition

de non-vision, et ce, peu importe la quantité de pratique. Ces résultats suggèrent que les informations visuelles provenant du membre qui effectue le geste d'atteinte, et éventuellement, celles disponibles dans l'environnement, sont utiles au contrôle du mouvement. Lors du transfert, le retrait de la vision entraînait une diminution de la précision spatiale des réponses significativement plus importante que celle observée suite au seul retrait de la CR (i.e., groupe en non-vision). De plus, la diminution de la précision spatiale notée pour le groupe ayant fait l'acquisition dans la condition de vision complète était plus prononcée après 2000 essais d'acquisition qu'après 200 essais d'acquisition. Ce résultat indique que le rôle des afférences visuelles pour le contrôle du mouvement ne diminue pas en fonction de la pratique et que, peut-être, pourrait-il même s'accroître. Toutefois, quelle était la nature de l'information visuelle retirée dans la phase de transfert qui a engendré la diminution de précision spatiale notée dans cette étude : la vision du membre en mouvement (Carlton, 1981) ou celle de l'environnement ambiant (Prablanc, Echallier, Jeannerod et Komilis, 1979) ?

Proteau et Cournoyer (1990) ont réalisé une étude pour déterminer le rôle de l'information visuelle dynamique (i.e., vision du membre en mouvement) pour le contrôle du mouvement, et ce, en fonction de la pratique. Comme dans l'étude de Proteau et al. (1987), les participants réalisaient une tâche d'atteinte manuelle (amplitude : 35 cm ; diamètre de la cible : 2 mm) pour 15 ou 150 essais d'acquisition. Pour chaque niveau de pratique, les participants réalisaient la tâche sous une de trois conditions d'acquisition :

vision complète, vision du stylet et non-vision. La cible à atteindre était toujours visible. Les participants devaient réaliser le mouvement dans un délai compris entre 400 ms et 500 ms. Ils prenaient connaissance de la précision spatiale de leur geste suite à chaque essai d'acquisition. Cette phase d'acquisition était suivie pour tous les participants de 15 essais de transfert réalisés en non-vision et sans CR.

Lors de l'acquisition, les résultats indiquent une augmentation de la précision spatiale en fonction de la pratique. De façon plus importante, on note aussi que suite à 15 essais de pratique, la condition de vision du stylet ne se distingue pas de la condition de non-vision (Elliott, 1988). Toutefois, suite à 150 essais de pratique, la condition de vision du stylet a permis une précision spatiale équivalente à la condition de vision complète et meilleure que celle observée pour la condition de non-vision (Carlton, 1981). Ces résultats suggèrent que l'information visuelle dynamique disponible dans la condition de vision du stylet devient, avec la pratique, utile au contrôle du mouvement. Cette conclusion est aussi supportée par les résultats obtenus dans la phase de transfert. Premièrement, le seul retrait de la CR n'a pas influencé la performance des participants (condition de non-vision). Toutefois, le retrait de la vision du stylet ou de l'information disponible dans la condition de vision complète (stylet + environnement) a engendré une diminution significative de la précision des réponses. Qui plus est, cette diminution de la précision était plus prononcée en fonction de la quantité de pratique (150 essais vs. 15 essais) et de la 'quantité' d'information visuelle disponible en acquisition (vision du stylet vs. vision du

stylet et de l'environnement). Ces résultats indiquent que le rôle des afférences visuelles dynamiques demeure important pour le contrôle du mouvement, et ce, même après une longue phase d'acquisition. De plus, la différence notée en transfert entre les conditions de vision du stylet et de vision complète suggère que l'information visuelle statique (i.e., l'environnement ambiant) puisse, elle aussi, être utile au contrôle du mouvement.

Proteau et Marteniuk (1993) ont réalisé une expérience dans le but de déterminer le rôle des informations visuelles statiques pour le contrôle du mouvement. De façon plus spécifique, leur but était de déterminer l'importance des informations visuelles disponibles avant et après la réalisation d'un geste de pointage sur la précision spatiale de celui-ci. Dans une première expérience, quatre groupes de participants réalisaient 165 essais sous une de quatre conditions d'acquisition : vision normale (VN), vision avant le début du geste (VAV), vision après la réalisation du geste (VAP) et vision de la cible seulement (VC). Par la suite, tous les participants ont été transférés dans la condition VC, et ce, sans CR.

En acquisition, les participants du groupe VN étaient plus précis que ceux des autres groupes. De plus, les participants du groupe VAP étaient plus précis que ceux des groupes VAV et VC (Beaubaton & Hay, 1986). Ces résultats suggèrent que les informations visuelles statiques disponibles après le geste sont plus utiles à la précision de celui-ci que celles disponibles avant son amorce. Il est important de souligner que les résultats obtenus pour la condition VAV sont contraires à une proposition de Prablanc et

al. (1979; voir aussi Rossetti, Desmurget et Prablanc, 1995). En effet, ces auteurs ont proposé que les informations disponibles avant l'amorce d'un geste de pointage sont importantes pour la planification de ce type de mouvement. Toutefois, il existe une différence importante pour la condition de vision avant l'amorce du mouvement entre l'étude de Proteau et Marteniuk (1993) et celles du groupe de Prablanc. À sa position de départ, le membre qui effectuait le geste n'était pas dans le champ visuel des participants dans la condition VAV de Proteau et Marteniuk (1993) tandis qu'il l'était dans la condition équivalente des travaux de Prablanc (Prablanc et al., 1979; Rossetti et al., 1995). Il est donc possible que le fait de voir sa main avant l'amorce d'un mouvement soit une importante source d'information pour la planification du mouvement (voir Desmurget, Rossetti, Jordan, Meckler, et Prablanc, 1997; Desmurget, Rossetti, Prablanc, Stelmach, et Jeannerod, 1995; Rossetti, Desmurget, Stelmach, Prablanc, et Jeannerod, 1994).

Néanmoins, les résultats de Proteau et Marteniuk (1993) soulignent l'importance des informations dynamiques pour assurer la précision d'un geste de pointage. En effet, seuls les participants de la condition VN ont subi une diminution significative de leur précision spatiale lors du passage de la condition d'acquisition à la phase de transfert. Ce résultat suggère que le rôle des informations visuelles statiques est moins important que celui des informations dynamiques pour la réalisation d'un geste de pointage. De plus, comme le groupe VAP était plus précis que le groupe VC lors de la phase d'acquisition, il semble que les informations visuelles statiques disponibles après l'exécution du geste sont

plus importantes que celles disponibles avant son amorce pour la planification du geste subséquent (Abahnini et Proteau, 1998; Beaubaton et Hay, 1986).

Proteau (1995) a souligné à nouveau l'importance des afférences visuelles dynamiques pour le contrôle du mouvement en isolant cette source d'information des informations visuelles statiques. La tâche consistait à déplacer un curseur illustré sur un écran vidéo d'une base de départ fixe vers une cible fixe. Deux conditions étaient utilisées en acquisition : vision ou non-vision du curseur en déplacement vers la cible. Au cours de cette première phase expérimentale, tous les participants bénéficiaient d'une CR spatiale après chaque essai. La vision du curseur en déplacement, seule source d'information visuelle dynamique présente en acquisition pour les groupes dans la condition de vision, était retirée au transfert. Cependant, l'information visuelle ambiante était la même qu'au cours de la phase d'acquisition. Durant cette dernière phase expérimentale, aucune CR n'était disponible.

En acquisition, la précision spatiale des participants en condition de vision normale était significativement supérieure à celles des participants en condition de non-vision du curseur (Adams et al., 1972 ; Proteau et al., 1987 ; Proteau et Cournoyer ; 1990, Proteau et Marteniuk, 1993), ce qui indique que les informations visuelles dynamiques jouent un rôle majeur dans le contrôle du mouvement. De plus, en passant de l'acquisition au transfert, seuls les participants auxquels on avait retiré les afférences visuelles dynamiques ont subi une diminution significative de la précision spatiale de leur mouvement. Ainsi, la

diminution de précision spatiale de ces participants ne peut être attribuée qu'au seul retrait de l'information visuelle dynamique disponible lors de la phase d'acquisition.

Les différentes études revues à date et qui confirment l'HSP présentent une caractéristique commune : le retrait des afférences visuelles est nuisible au contrôle du mouvement. De plus, la source d'afférence visuelle qui engendre une bonne précision spatiale semble être l'information visuelle dynamique associée au déplacement du membre vers la cible. Qui plus est, il semble que la diminution de précision spatiale observée suite au retrait des informations visuelles soit liée à la quantité de pratique effectuée avant le retrait. Ces résultats suggèrent que l'apprentissage est spécifique aux sources d'afférence utilisées lors de la pratique pour assurer la précision du geste. De plus, cette spécificité pourrait s'accroître en fonction de la pratique.

En plus de modifier les positions théoriques classiques (Fleishman et Rich, 1963; Schmidt, 1975) quant au rôle des afférences pour le contrôle du mouvement, les résultats obtenus dans la série d'études présentée ci-haut ont une portée pratique tout aussi importante. En effet, ces études suggèrent que la pratique de plusieurs activités sportives où la précision du geste est importante devrait être réalisée sous les mêmes conditions d'afférence que celles disponibles ou permises lors de la compétition. C'est dans cette perspective que quelques études récentes ont été réalisées afin de déterminer l'à-propos de l'HSP pour des tâches à caractère sportif.

HSP et activités sportives

Robertson, Collins, Elliott et Starkes (expérience 2 ; 1994) ont voulu déterminer l'à-propos de l'HSP pour une tâche de marche sur poutre d'équilibre. Le paradigme expérimental 'novice-expert' utilisé dans cette expérience était différent de celui utilisé par Adams et ses collaborateurs (1972, 1977) et de celui utilisé par Proteau et ses collaborateurs (1987, 1990, 1992, 1993 et 1995). Ce paradigme pose comme prémisse qu'un expert a bénéficié des mêmes conditions de pratique qu'un novice mais en quantité supérieure. Ce paradigme expérimental n'exige donc pas de phase d'acquisition puisque l'expérience préalable des participants représente cette phase expérimentale. Afin de s'assurer d'avoir deux niveaux d'expertise différents les auteurs ont sélectionné des gymnastes de niveau universitaire et des étudiantes de premier cycle en éducation physique. La tâche des participantes était de traverser une poutre d'équilibre réglementaire (4 m x 0.1 m, FIG) le plus rapidement possible sous chacune de trois conditions d'afférence. Ainsi, chacune des participantes réalisait 10 essais en vision normale, en non-vision et en non-vision avec délai. La dernière condition expérimentale ne sera pas considérée dans ce mémoire. Les résultats indiquent que, pour les novices, le temps de traversée, le nombre de pas et de déséquilibres étaient significativement plus élevés dans la condition de non-vision que dans la condition de vision normale. Les gymnastes expérimentées nécessitaient, elles aussi, un plus grand nombre de pas et subissaient de plus nombreux déséquilibres dans la condition de non-vision que dans celle

de vision normale. Toutefois, le temps de traversée n'était pas affecté par la condition de vision. Ces résultats soulignent l'importance des afférences visuelles pour cette tâche en ce sens que le retrait de cette source d'afférence engendre une augmentation du nombre de déséquilibres pour les novices et les expertes. Toutefois, ils ne supportent pas l'HSP puisque les diminutions de performance notées pour les expertes étaient moindres que celles notées pour les débutantes.

Dans la même veine, Bennett et Davids (expérience 2 ; 1995) ont évalué l'HSP pour une autre tâche motrice globale, soit le 'powerlift squat'. Ces auteurs ont aussi favorisé un paradigme 'novice-expert'. Les experts ont été sélectionnés en fonction de leur performance à des compétitions nationales tenues en Angleterre. Les participants novices étaient des usagers de salles de conditionnement physique depuis une, deux ou trois années. Les participants réalisaient la tâche de 'powerlift squat' avec une charge représentant 50 % de leur charge maximale. Ils devaient réaliser trois essais dans chacune de trois conditions expérimentales : non-vision, vision ambiante et vision ambiante assistée (avec un miroir placé en face du participant). La performance des participants était évaluée en fonction de certains aspects techniques (position des membres inférieurs) normalement utilisés en compétition pour déterminer si un essai est techniquement correct ou s'il doit être refusé. Les participants novices ont obtenu de moins bonnes performances en non-vision qu'en vision ambiante ou en vision ambiante assistée alors que les experts n'étaient pas affectés par la condition de vision. Bennett et Davids (1995) prétendent que

ces résultats vont à l'encontre de l'HSP puisque les experts étaient moins affectés que les novices par le retrait des afférences visuelles. Ces résultats vont aussi à l'encontre de ceux obtenus par Robertson et al. (1994) puisque les participants experts n'ont pas été affectés du tout par le retrait des afférences visuelles.

Finalement, Whiting, Savelsbergh et Pijpers (expérience 1 ; 1995) ont, eux aussi, évalué l'à-propos de l'HSP à l'aide d'une tâche motrice globale. Cette fois-ci, les participants devaient attraper des balles lancées vers eux. Sur la base d'un pré-test, les auteurs ont sélectionné des participants ne présentant pas de bonnes performances initiales pour cette tâche. La performance des participants était évaluée sur la base de deux critères : le nombre de balles attrapées (aspect spatial et aspect temporel corrects) et le nombre de balles touchées (aspect spatial correct). Les participants ont été séparés en trois groupes. Ceux des deux premiers groupes ont réalisé 360 essais d'acquisition en condition de vision normale ou alors que seule la balle était visible. Les participants du dernier groupe ont réalisé 600 essais d'acquisition sous la condition de vision de la balle seulement. Suite à cette acquisition, tous les participants ont réalisé un test de transfert en vision normale.

Lors de ce transfert, les participants ayant fait l'acquisition dans la condition de vision de la balle seulement ont démontré une augmentation de performance comparativement à celle observée à la fin de la phase d'acquisition (plus de balles attrapées et moins d'erreurs spatiales). Whiting et al. (1995) ont proposé que ces résultats

infirmait l'HSP puisque l'ajout d'une source d'afférence a entraîné une augmentation du nombre de balles attrapées. En soi, cette interprétation est juste. Toutefois, il faut noter que les participants qui ont pratiqué la tâche pour 600 essais n'ont pas amélioré leur performance lorsque comparée à celle du pré-test. Ceci suggère que la pratique en condition de vision de la balle seulement n'a en rien bénéficié aux participants pour la réalisation de la tâche en vision normale. Il semble donc que ces deux types de pratique soient tout à fait indépendants l'une de l'autre, ce qui indiquerait une certaine forme de spécificité de la pratique.

Pris collectivement, les résultats des trois dernières études jettent un doute sur l'étendue d'application de l'HSP. Toutefois, avant de conclure que cette hypothèse doit être rejetée ou modifiée, il faut considérer que les trois dernières études revues souffraient de faiblesses méthodologiques importantes. Dans la prochaine section, nous comparerons les méthodologies utilisées dans les études supportant l'HSP et dans celles ne supportant pas cette hypothèse. Cette comparaison devrait nous permettre de mieux évaluer l'impact des résultats conflictuels présentés ci-haut sur la viabilité de l'HSP.

Méthodologie des travaux confirmant et de ceux infirmant l'HSP

Les travaux de Proteau et de ses collaborateurs se distinguent de ceux présentés dans la section précédente sur trois points principaux. L'HSP concerne l'effet de la pratique sur le rôle des afférences pour le contrôle du mouvement. Ainsi, le nombre d'essais utilisés dans les phases expérimentales est un facteur de premier ordre dans

l'analyse des résultats. Évidemment, pour les études utilisant un paradigme 'novice-expert', il est difficile de critiquer les niveaux de pratique entre les groupes. Il en est autrement pour l'étude de Whiting et al. (1995) qui peut être critiquée à ce sujet au niveau de l'acquisition. En effet, les deux niveaux de pratique utilisés se distinguent très peu l'un de l'autre (360 essais vs. 600 essais), soit un facteur de multiplication de 1.66 entre les niveaux. Ce facteur variait normalement entre 6 et 10 pour les travaux de Proteau et de ses collaborateurs ainsi que pour ceux d'Adams et de ses collaborateurs. Cette différence pourrait expliquer l'absence d'effet de la pratique dans les résultats présentés par Whiting et al. (1995). Pour les études de Bennett et Davids (expérience 2 ; 1995) et de Robertson et al. (expérience 2 ; 1994), les participants étaient choisis selon leur expérience. Toutefois, cette expérience n'a pas été acquise sous une seule et même condition d'acquisition. En effet, les participants experts de l'expérience de Bennett et Davids (1995) ont affirmé qu'ils ne s'entraînaient pas avec un miroir ni autre guide non-présent en situation de compétition, alors que ceux de l'étude de Robertson et al. (1994) ont sûrement bénéficié de pratique en situation de non-vision (situation utilisée pour l'entraînement). Donc, les conditions de transfert en non-vision pour ces études n'étaient pas nouvelles pour les participants experts. Ainsi, en comparant les études de la section précédente et celles confirmant l'HSP, on observe que l'expérience des participants relative aux conditions de transfert n'est pas contrôlée de la même façon. Cette différence

peut-être à l'origine des résultats conflictuels. Toutefois, une autre différence majeure doit être soulignée entre ces groupes d'expériences.

Depuis longtemps, il est reconnu que la CR favorise l'apprentissage d'une tâche. Dans les études de la section précédente, la CR n'a pas toujours été contrôlée. En effet, Whiting et al.(1995) ont utilisé une tâche d'interception de balles dans une condition de vision normale, et ce, pour 100 essais dans la phase de transfert. Cette CR a pu permettre aux participants de s'améliorer significativement durant cette phase. Ainsi, la performance moyenne de la phase de transfert pourrait cacher une variation importante de performance qui n'expose pas l'effet réel du changement de condition. D'une façon différente, mais tout aussi importante, Robertson et al. (1994) ont aussi alloué une certaine CR aux participantes. En effet, le fait de poser le pied sur la poutre d'équilibre représente une source d'information fort importante. Alors, il est probable que les participantes expertes, habituées à cette tâche, utilisaient cette source d'information pour guider leur geste. Ainsi, la présence de CR au transfert dans les études infirmant l'HSP représente aussi une différence importante avec les études confirmant cette hypothèse.

Intérêts particuliers du présent mémoire

Dans la partie expérimentale de ce mémoire, nous allons étudier le rôle de la vision pour le contrôle du mouvement humain. Nous reprendrons les tâches sportives utilisées par d'autres auteurs en tentant d'éliminer les lacunes méthodologiques soulevées précédemment. Ainsi, nous utiliserons des tâches de marche de précision, de 'powerlift

squat' et d'interception de balles. Toutefois, nous allons effectuer certains contrôles méthodologiques jugés importants. D'abord, nous contrôlerons la phase d'acquisition des participants en utilisant un paradigme d'apprentissage plutôt qu'un paradigme novice-expert. Ensuite, nous utiliserons des niveaux de pratiques nettement différents l'un de l'autre. Enfin, nous éliminerons la CR lors des tests de transfert.

Running head: Specificity of Practice Hypothesis

Practice Does Not Diminish the Role of Visual Information for On-line Control of a
Precision Walking Task: Support for the Specificity of Practice Hypothesis

Luc Proteau¹, Luc Tremblay

Département d'éducation physique,

Université de Montréal,

and

Dominique DeJaeger

Département d'éducation physique

Université Catholique de Louvain

Journal of Motor Behavior, 1998, 2, 143-150

¹Corresponding author:

Luc Proteau,
Département d'éducation physique,
Université de Montréal,
PO Box 6128, Station 'Downtown',
Montréal, Canada, H3C 3J7.
Tel (514) 343-2039
Fax (514) 343-2181
Email: proteau@ere.umontreal.ca

Abstract

It has been proposed that motor learning is specific to the sources of afferent information available during practice (Proteau, 1992). Support was found for this hypothesis in aiming studies, whereas studies using gross motor skills failed to support it. Many procedural differences between the two sets of studies might have caused the conflicting results. In the present study, the specificity of practice hypothesis was tested using a precision walking task. Thirty-two subjects were asked to walk for 20 meters on a 2.5 cm wide line. Subjects practiced the task for either 20 or 100 trials under normal visual conditions or while blindfolded. Following acquisition, all subjects performed the task for 20 additional trials while blindfolded and no knowledge of results was provided. Results indicated that practice improved performance while blindfolded. However, withdrawing vision in transfer resulted in a large and significant increase in error, supporting the specificity of practice hypothesis.

Practice Does Not Diminish the Role of Visual Information for On-line Control of a
Precision Walking Task:
Support for the Specificity of Practice Hypothesis

General consensus concerning how a skilled movement can be produced suggests that performing a motor skill involves cooperation between central planning and processes responsible for the correction of the ongoing movement (Abbs, Gracco, & Cole, 1984; Bullock & Grossberg, 1988; 1991; Meyer, Abrams, Kornblum, Wright, & Smith, 1988; Schmidt, 1975; van der Meulen, Gooskens, Denier van der Gon, Gielen, & Wilhelm, 1990). However, the relative importance of each of these two processes and the nature of the afferent input used for error detection are still debated.

Schmidt (1975) advocated that, although afferent information was certainly important for the learning of a novel task, practice results in the individual developing motor programs that could be run efficiently without afferent input. Others have suggested that visual afferent information was used as a primary source of afferent information early in practice but that, as a function of practice, it was gradually replaced by kinesthetic input (Fleishman & Rich, 1963). In fact, the presumably diminishing role of afferent information for movement control, and in particular of visual afferent information, appears to be one of the most tenacious beliefs of motor learning/control theories. However, empirical support for these propositions is limited.

For instance, Schmidt's proposition is supported by some early observations made by Lashley (1917) who reported that an adult patient who had a gunshot wound to the spine, rendering the legs deafferented, could still move his legs. Although we do not dispute that this patient was severely deafferented, there is a rather strong possibility that not all afferent fibers had been severed and that the remaining fibers had conveyed enough information for movement control. The same criticism may also be applied to animal deafferentation studies in which it is arguable that all afferent fibers had been surgically severed (see also McCloskey & Prochazka, 1994).

Another of the main advocacies of the diminishing role of afferent information for movement control comes from a study reported by Pew (1966). In that study, the subjects' task was to align a dot shown on a cathode ray tube with a pre-determined target by way of successive key presses performed by the index of each hand. The activation of the left key caused the displacement of the dot to the left, while the activation of the right key caused the displacement of the dot to the right. Early in practice, results clearly indicated that subjects were producing discrete key presses, that is, they were waiting for the result of one response before initiating the next one. This is illustrated by a mean interresponse delay of 458 ms for the first three hours of practice. After 12 additional hours of practice, this mean response time had been reduced to 292 ms. This reduction of the mean interresponse time has been interpreted by many authors as an indication that practice resulted in the subjects moving from a closed-loop mode of control towards open-

looped control. However, the results of a control condition for which subjects were asked to tap alternately on the two responses keys revealed a mean interresponse time of 125 ms. Given the reasonable assumption that open looped control had been used in the latter condition, this left 167 ms between each successive key stroke to process afferent information at the end of the practice phase of the experiment, which was largely sufficient to process visual afferent information (see Carlton, 1992 for a review). The decrease in the mean interresponse time found between early and late practice could indicate the development with practice of more efficient, less time consuming, feedback loops (Abrams & Pratt, 1993; Proteau, 1992). Finally, considering the possibility that on-line control progresses from visual to kinesthetic input, it is worth noting that Cox and Walkuski (1988) recently failed to replicate Fleishman and Rich's (1963) results.

A third hypothesis has recently been proposed. It suggests that learning is specific to the sources of afferent information available during practice (see Proteau, 1992 for a review). Further, a corollary suggests that this specificity might even increase with practice. This position recognizes that the increased efficiency at performing a motor skill with increased practice is partially based on the refinement of central planning but also, and at least as importantly, on the refinement of the error detection and correction mechanisms developed with practice. Further, this position suggests that the error detection and correction mechanisms developed during practice are specific to the sources of afferent information used to control the movement during practice.

Support for the so-called 'specificity of practice' hypothesis (Proteau, 1992) has been obtained in a series of recent studies conducted in our laboratories and sharing two characteristics: we always used a transfer paradigm and were mainly interested in the role played by visual information for the control of aiming movements. Our utilization of a transfer paradigm is based on the following rationale: Firstly, if being able to see one's ongoing movement in an acquisition (or practice) phase leads to a better spatial accuracy than when the task is performed under a no-vision condition (between subject comparison), then one has to conclude that visual information was used in some way to control the ongoing movement. Secondly, if withdrawing vision in a transfer phase results in an increase in error, then one must conclude that the visual information that had been withdrawn was indeed important for movement control. On the other hand, if the withdrawal of that visual information does not cause any increase in error, then one must conclude that the withdrawn information was not used for control purposes. Therefore, by comparing the efficiency of an individual performing different types of tasks under a variety of feedback conditions, during both acquisition and transfer, we were able to determine the sources of afferent information used to control the ongoing movement. Further, by comparing the results obtained using such a design after different amounts of practice, we would be able to assess the importance of the available afference as practice of the task increases. For example, if vision of the ongoing limb in an aiming task is very important early in learning but its importance decreases as a function of practice, then

having visual afference withdrawn in transfer should have a deleterious effect on movement accuracy early in practice, whereas its late withdrawal should lead to a very small decrease in accuracy. However, if learning is specific to the sources of afferent information used during practice, withdrawing vision would result in deleterious effects on one's performance. Further, if that deleterious effect is found to increase as a function of practice available before vision is withdrawn, it would be shown that specificity increases with practice.

In a first study (Proteau, Marteniuk, Girouard, & Dugas, 1987) we had four groups of subjects perform a 90 cm aiming movement in 550 ms. Two groups practiced for 200 trials (condition 200) and two practiced for 2,000 trials (condition 2,000). Knowledge of results (KR) regarding spatial and temporal accuracy was provided after each trial. Furthermore, for each level of practice there was a group of subjects who practiced with complete vision of both the performing limb and the target (vision condition) and a group for which only vision of the target was allowed (no vision condition). Finally, following the practice period, the subjects of all four groups were transferred to the no-vision condition with no KR. When using the ratio of pretransfer to transfer performance, as measured by root mean square error (RMSE), it was shown that the subjects who practiced in the vision conditions suffered a significantly larger increase of RMSE than the subjects who had trained in the no-vision conditions. Moreover, this increase in error for the subjects who had trained in the vision conditions was 100% after 200 trials of practice

and increased to 400% after 2,000 trials of practice. These results suggest that the role played by visual afferent information for movement control does not diminish as practice increases. This proposition is well supported by the larger RMSE in transfer, in absolute terms, for the 2,000 trials group than for the 200 trials group. More recent results using the same paradigm indicated that the increase in error noted in transfer had been caused by the withdrawal of the dynamic visual information concerning the displacement of the stylus used by the subjects (Proteau, 1995; Proteau & Cournoyer, 1990) rather than by the withdrawal of surrounding visual information (Proteau, 1995; Proteau & Marteniuk, 1993).

This series of results strongly indicated that with aiming or aiming-like tasks (see Adams, Goetz, & Marshall, 1972; Adams, Gopher, & Lintern, 1977) requiring a high level of spatial accuracy the role of visual information for movement control does not diminish as a function of practice. At worst, Adams' data, as well as that obtained in our laboratory, indicate that visual afferent information remains as important after extensive practice as it is after modest practice (see also Abrams & Pratt, 1993). Further, these data suggest that learning is specific to the set of afferent information available during practice.

Presumably because of the possible important implications of these findings to more applied motor learning settings, a series of recent studies were conducted to determine whether support for the specificity of practice hypothesis could be obtained in tasks such as gymnastic beam walking (Robertson, Collins, Elliott, & Starkes, 1994),

power lifting (Bennett & Davids, 1995) or one-handed catching (Whiting, Savelsbergh, & Pijpers, 1995). Typically, the authors favored the utilization of a novice-expert paradigm and tried to determine whether withdrawing vision from experts would be more detrimental to performance than its withdrawal from novice subjects. Results from these studies showed that withdrawing vision was at least equally detrimental for novice as it was for expert participants, which did not support what has been called by some 'a strong specificity of learning hypothesis'.

Although all of these studies had been expertly conducted, we suggest that the general lack of support for the specificity of practice hypothesis might be entirely caused by procedural differences. First of all, we suggest that the novice-expert paradigm favored in these studies is not optimal. There are a number of reasons for this position. For instance, in a ball catching task, expertise might result from a better evaluation of the trajectory of the ball, general displacement of the body, or from general timing skills. Withdrawing vision of the hand in transfer does not affect any of these skills, which might explain the rather small effect of withdrawing vision of the hand. The same type of phenomenon also applies for beam-walking and power-lifting. In both cases, experts might perform better than novices in the no-vision transfer test at least partially because of better postural control, strength factors, and so on.

Secondly, withdrawing vision in transfer is not a sufficient condition to evaluate the specificity of practice hypothesis. In addition, it is also imperative that the transfer

condition does not provide implicit or explicit knowledge of results (KR). This is an important requirement to meet because learning is defined as being relatively permanent and independent of KR (see Salmoni, Schmidt, & Walter, 1984). Further, almost any form of KR could be used by subjects to modify their movement on-line or to plan their movement on the next trial in accordance with KR available on the preceding trial. For instance, in the beam walking task, the equivalent of a transfer condition had been performed while the subjects were blindfolded. However, on each trial the subjects could still evaluate the correctness of their performance by sensing the placement of their feet on the beam, by better evaluating slight loss of balance, etc. The same category of information was also available in the ball catching experiment. For example, the specificity of practice hypothesis proposes that withdrawing vision in transfer would result in a misplacement of the hand which, eventually, would cause the subject to drop the ball. However, even if the hand is misplaced, there is a strong possibility that the ball will hit the subject's hand or arm, which provides information as to where one's hand was located in relation to the ball trajectory.

Thirdly, the hypothesis, as we have proposed it, had been restricted to tasks requiring a high level of spatial accuracy. A relatively high level of spatial accuracy was present in the beam walking task, as the beam is only 10.5 cm wide. However, in the ball catching tasks, points were awarded when the subjects touched the ball. Given a normal hand span of approximately 20 cm, this permitted a rather large error of placement.

Finally, it is important that the expert subjects not already have extensive practice at the experimental task in a no-vision context. Specifically, we have been told by gymnastics coaches that gymnasts frequently walk on the beam with their eyes closed during a normal practice session. Concerning the power lifting task, Bennett and Davids (1995) indicated that expert lifters told them that they did not rely on any form of visual aided training (for example, practicing in front of a mirror). In both cases, the experts 'clearly' had more practice experience in a 'no-vision' condition than the novices, which could well explain their better performance in the no-vision transfer test.

This brief review of the literature indicates that we know little about the possible extension of the specificity of practice hypothesis, as we have formulated it, to a different class of movement other than an aiming task. The goal of the present study was to determine the viability of the hypothesis using a precision walking task which shares many commonalities with beam walking, without encountering the pitfalls described above. Moreover, our task, which requires specific foot placement, ensured relatively frequent visual sampling of the environment by the subjects (Patla, Adkin, Martin, Holden, & Prentice, 1996). Specifically, we trained four groups of subjects to walk for 20 meters on a 2.5 cm wide line painted on the floor of an ordinary room. Two groups of subjects practiced the task under the normal vision condition, while the remaining two groups practiced the task while blindfolded. Under each condition of visual feedback, there was a group of subjects who performed the task for 20 trials (approximately 560 steps) while the

subjects of the other two groups practiced the task for 100 trials (approximately 2,800 steps). Following practice, all four groups of subjects performed the task for an additional 20 trials under the no-vision condition with no KR on spatial accuracy. The specificity of practice hypothesis would be supported if withdrawing vision in transfer resulted in an increase in error compared to the no-vision condition. Further support would be obtained if a larger deleterious effect of withdrawing vision was noted after 100 than after 20 trials of practice.

Method

Subjects

Thirty-two undergraduate students from the Département d'éducation physique at the Université de Montréal participated in this experiment ($M = 21.9$ years old, $SD = 1.9$ years). All subjects were unaware of the goals of the experiment.

Task and Apparatus

The subjects' task consisted of walking for a distance of 20 meters on a 2.5 cm wide line painted on the floor. Subjects were asked to complete a trial in a movement time ranging between 14 and 16 seconds. We chose these values because pilot work has indicated that they corresponded to the preferred walking speed of most individuals, under either condition of vision used in the present study. Walking time was measured by the Experimenter who started a hand chronometer as subjects initiated a trial and stopped it as subjects reached the end of the line. The Experimenter also counted the number of steps

required to walk the distance and asked the subjects to stop as soon as they crossed a metric tape affixed to the floor at each end of the target walking line. This tape was used by the Experimenter to evaluate the subject's end deviations from it. Finally, for the conditions and/or experimental phases performed in no-vision (see Procedure section), the subjects wore an opaque blindfold.

Procedures

The subjects were randomly assigned to four experimental groups. Two groups practiced the task for 20 trials, while the remaining two groups practiced the task for 100 trials. For each level of practice, there was a group who performed the task under normal visual conditions (full vision: FV) and a second group who performed the task while being blindfolded (no vision: NV). Also, the subjects of all four groups performed the task while listening to a Walkman.¹ Following each trial of practice, the subjects of all four groups were given KR. For all subjects, it consisted of being informed of their MT when it fell outside the target bandwidth. Subjects who trained in the FV condition were able to evaluate visually the spatial accuracy of each of their steps. Subjects of the NV group lifted their blindfold at the end of a trial (indicated by the Experimenter) to evaluate deviations from the target line. Thus, KR was similar for all groups.

Following the last trial of acquisition, subjects of all four groups were submitted to a transfer experimental phase which consisted of 20 trials performed in the NV condition with no KR on spatial accuracy. To reach this goal, subjects were asked to stop as soon

as they crossed the metric tape located at the end of the target line. The Experimenter noted the deviation from the target line and then guided the subjects back to their starting point, using a complex route. This ensured that subjects had no feedback concerning the spatial accuracy of any given trial. However, KR on the temporal aspect of the task was still provided to all subjects to minimize a possible trade-off between the temporal and spatial aspects of the task.

The dependent variables used in the present study were the number of steps taken to cross the required 20 meters and, more importantly, the deviation from the target line noted at this point. It should be noted that the latter dependent variable is a resultant error. Because of this, the noted error is, in fact, largely smaller than an error measure based on the total distance walked before crossing the finish line or the summation of the deviations between each step of the subjects and the target line. For this reason, the errors reported in the present study are conservative estimates of walking accuracy.

Results

Acquisition phase

Spatial accuracy. For obvious reasons, all subjects who performed the task in the FV condition ended each trial directly on the target line. No statistical analysis could be computed for these groups on the spatial component of the task. However, to determine whether the NV groups improved their performance as a function of practice, the RMSE was computed for each successive block of 5 trials for the subjects who practiced the task

for 20 trials, and in blocks of 10 trials for the subjects who performed 100 acquisition trials. As illustrated in Figures 1a and 1b, there was a decrease of the RMSE of spatial accuracy as a function of the blocks of practice. This decrease in RMSE as a function of practice was not sufficient to reach significance for the subjects who practiced the task for 20 trials, $p > .05$. This was mainly caused by large intra-subject variance from one block of trials to the other. However, this effect was significant for the NV-100 condition, $F(9, 63) = 2.8$, $p < .05$. Newman-Keuls post-hoc comparisons indicated a larger RMSE for block 1 than for blocks 2, 3, 7, 8, and 10, indicating a rather sharp decrease in RMSE early in practice, followed by a stabilization in performance later in practice.

Number of steps and movement time. For each level of practice, the data collected for the number of steps and the time required to perform the task were submitted to independent ANOVAs contrasting the subjects' performance for each visual feedback condition (FV vs. NV) across blocks of practice. None of the effects reached significance, $p > .05$. Briefly, subjects performed the task in a mean of 27.6 steps over a 15 s period. The number of steps or time needed to perform the task did not vary by more than 10% across subjects, visual feedback conditions, blocks of trials, and amount of practice. These data indicate that subjects had no difficulty in meeting the temporal requirements of the task and, further, that no trade-off occurred between its temporal and spatial components.

Acquisition vs. Transfer

The goal of the present series of analyses was to determine whether withdrawing vision in transfer would affect the subjects' performance of the task. Usually, to test the specificity of practice hypothesis and its corollary, one has to compare the performance obtained late in acquisition to that obtained in transfer (see Proteau, 1992). Because all subjects submitted to the FV conditions ended every single trial right on the target during acquisition (RMSE = 0 m), we felt that the usual comparison would be unfairly biased in favor of the specificity of practice hypothesis. For this reason, we tested the hypothesis by considering only the data collected in the transfer test. Specifically, the data collected in the transfer test for each dependent variable was submitted to a 2 visual feedback conditions (FV vs. NV) x 2 levels of practice (20 vs. 100) x 4 blocks of trials (1-5, 6-10, 11-15, 16-20)² ANOVA using repeated measures on the last factor.

Spatial accuracy. Firstly, it should be noted that the data of one subject for each of the NV-100, FV-20 and FV-100 conditions had been withdrawn from the analyses. Their results differed from the mean of their group by 1.96, 2.21 and 2.53 standard deviations, respectively, and were considered as outliers. The results of this analysis revealed a significant main effect of the visual feedback condition, $F(1, 25) = 15.3, p < .05$. Moreover, as illustrated in Figure 2, there was a significant interaction between the visual feedback conditions and the levels of practice, $F(1, 25) = 12.9, p < .05$.³ We compared the means involved in this interaction using Newman-Keuls technique, $p < .05$. This

breakdown revealed a similar RMSE for the subjects who had trained for 20 trials in either the FV or the NV conditions (2.04 m and 2.15 m, respectively). Also, for the NV condition, no differences were noted between the 20 and the 100 trial levels of practice (2.04 m and 1.39 m, respectively). Finally, and perhaps more importantly, the subjects who had trained for 100 trials in the FV condition (3.89 m) had a significantly larger RMSE in transfer than any other group.

Number of steps and movement time. As was the case during acquisition, the number of steps and the MT needed to walk the required distance was not influenced by either the number of acquisition trials or the visual feedback conditions, $p_s > .05$. Again, the temporal requirements of the task were easily met by all subjects.

Discussion

The specificity of practice hypothesis proposes that learning is specific to the sources of afferent information available during practice. The hypothesis is tested by having subjects practice the experimental task under a particular set of afferent information and, then, submitting them to the same task while this set of afferent information is modified. If modifying in transfer the set of afferent information available during acquisition results in a deterioration of performance, then the hypothesis is supported. Support for an increase in specificity as a function of practice is obtained if the deterioration of performance noted in transfer is inversely related to the number of practice trials performed in acquisition. Although it has been well supported in aiming studies

(Proteau, 1992), the specificity of practice hypothesis has encountered serious challenges in a series of recent studies using gross motor skills: beam walking (Robertson et al., 1994), power-lifting (Bennett & Davids, 1995), and one-handed catching (Whiting et al., 1995). Before concluding that the hypothesis has a limited application, we wanted to determine whether procedural differences noted between the studies which had supported the hypothesis and those which did not could explain the conflicting results. Thus, the specific goal of the present study was to determine whether the specificity of practice hypothesis would be supported for a high precision walking task (gross motor skill) for which visual afferent information is an important source of afferent information (Patla et al., 1996) and wherein no form of KR concerning spatial accuracy is available.

The results of the present study indicate that precision walking can be improved by practice and KR when performed in a no-vision situation. This suggests that, through practice with KR, one can learn to detect subtle kinesthetic cues associated with deviations from the intended path and issue appropriate corrective commands. However, are these kinesthetic cues processed similarly when normal vision is available during practice? The results obtained in transfer for the two groups who practiced in the FV condition suggest that the usefulness of these cues does not remain as important after 100 practice trials in normal vision. Specifically, after 20 trials of practice in the FV condition, withdrawing vision resulted in the subjects performing as well as the subjects who had trained for 20 trials in the NV condition. Thus, after modest practice, the FV-20 group probably still had

access to the same kinesthetic cues as the NV-20 group. This, in turn, suggests that performance was not specific to the set of afferent information (especially vision) available during practice. However, after more acquisition trials which permitted the NV-100 group to significantly improve their performance, withdrawing vision to the FV-100 group resulted in a large increase in error. In fact, the RMSE of the FV-100 group in transfer was larger than that found for either the NV-20, the NV-100, or for the FV-20 groups. Moreover, this error was larger than that noted at the beginning of practice for the NV groups.

The results obtained by the FV-100 group in transfer indicate that practicing the task with normal visual feedback did not result in the subjects progressively ignoring visual afferent information for the control of movement in favor of a more open-looped mode of control (Keele, 1968; Schmidt, 1975) or of kinesthetic feedback (Fleishman & Rich, 1963) as the main source of afferent information. Rather, these results suggest that the FV-100 group relied heavily on visual cues for movement control, at the detriment of other sources of afferent information (i.e., kinesthetic), and that withdrawing vision in transfer left them without an appropriate reference to perform the task accurately. Or, in different words, that performing the task became specific to the set of afferent information used during practice (Proteau, 1992). We will return to this point later.

Because the specificity of practice hypothesis has not been supported in previous work using gross motor skills, we will try to identify the factors which caused differing

results in the present study. As indicated in the introduction, numerous procedural differences are found between the two sets of studies. The methodological point which most likely explains most of the differences found between our study and that of Robertson et al. (1994) concerns the availability of KR in transfer. Because subjects are very apt at using subtle forms of KR to control their movement, having almost any form of KR available in transfer is likely to attenuate or even eliminate the effects of modifying the sources of afferent information available for movement control. We reached this conclusion because pilot work (see footnote 1) indicated that subjects were able to detect squeaking sounds from the floor, or even small changes in illumination when a translucent rather than opaque blindfold was used, to evaluate drift from the target line and implement corrective actions.

It can be concluded that the error detection and correction mechanisms thought to develop with practice are not based on visual afferent information early in practice but on kinesthetic feedback after extended practice. Rather, the specificity of practice hypothesis is intact when a few procedural points are met. Nonetheless, important work remains to be done. Firstly, statistically significant support for the associated proposition, that increased practice results in increased specificity, is found in some studies (Proteau et al., 1987; Proteau, 1992) but does not reach significance (Proteau, 1995; Proteau & Cournoyer, 1990) or is not supported in other studies using very similar designs (Adams et al., 1977; Proteau & Marteniuk, 1993). This hypothesis could not be tested in the present

study. This is the case because, contrary to our expectations, 20 trials of practice in the FV condition has not been sufficient to result in specificity. Thus, it was impossible to determine whether increased specificity could result from more practice. Nonetheless, the exact reason for the evasiveness of this effect still eludes us and more experimental work is needed to study this point. Secondly, we originally stated (Proteau et al., 1987, Proteau, Marteniuk, & Lévesque, 1992) that specificity stemmed from the evidence that early in the learning of a task, the different sources of available afferent information that are used to help control the ongoing movement are compared intramodally to some internal representation of the movement (for example: visual afference to visual expected sensory consequences; Schmidt, 1975). However, as practice and consequently learning increases, we had proposed that the different sources of available sensory information are compared to an integrated or intermodal representation of the expected sensory consequences. Thus, withdrawing in transfer one source of afferent information used to develop the intermodal store left the individual with an incomplete reference store which presumably caused the decrease in performance. An alternative explanation could be that, regardless of the task one practices, there is a source of afferent information which is best suited to ensure optimal performance and that it progressively dominates other sources of afferent information. Withdrawing such a source of afferent information early in practice would be less detrimental than doing so later in practice because its dominance has not yet been established. Moreover, this view would suggest that withdrawing this source of afferent

information at any point beyond that at which its dominance has been firmly established would result in a similar increase in error regardless of the amount of practice. This interpretation, although speculative at the present time, is consistent with the plateau in error increase discussed above which has been obtained in some studies. We will address this possibility in our future work.

References

- Abbs, J.H., Gracco, V.L., & Cole K.J. (1984). Control of multimovement coordination: Sensorimotor mechanisms in programming. Journal of Motor Behavior, 16, 195-231.
- Abrams, R. A., & Pratt, J. (1993). Rapid aimed limb movements: Differential effects of practice on component submovements. Journal of Motor Behavior, 25, 288-298.
- Adams, J.A., Goetz, E.T., & Marshall, P.H. (1972). Response produced feedback and motor learning. Journal of Experimental Psychology, 92, 391-397.
- Adams, J.A., Gopher, D., & Lintern, G. (1977). Effects of visual and proprioceptive feedback on motor learning. Journal of Motor Behavior, 9, 11-22.
- Bennett, S.J., & Davids, K. (1995). The manipulation of vision during the powerlift squat: Exploring the boundaries of the specificity of learning hypothesis. Research Quarterly for Exercise and Sport, 66, 210-218.
- Bullock, D., & Grossberg, S. (1988). Neural dynamics of planned arm movements: Emergent invariants and speed-accuracy properties during arm trajectory formation. Psychological Review, 95, 49-90.
- Bullock, D., & Grossberg, S. (1991). Adaptive neural networks for control of movement trajectories invariant under speed and force rescaling. Human Movement Science, 10, 3-53.

Carlton, L.G. (1992). Visual processing time and the control of movement. In L. Proteau and D. Elliott (Eds.), Vision and motor control (pp. 3-31). Amsterdam: North Holland.

Fleishman, E. A., & Rich, S. (1963). Role of kinesthetic and spatial-visual abilities in perceptual-motor learning. Journal of Experimental Psychology, 66, 6-11.

Keele, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. Psychological Bulletin, 70, 387-403.

Lashley, K.S. (1917). The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ. The American Journal of Physiology, 43, 169-194.

McCloskey, D.I., & Prochazka, A. (1994). The role of sensory information in the guidance of voluntary movement: reflections on a symposium held at the 22nd annual meeting of the Society for Neuroscience. Somatosensory and Motor Research, 11, 69-76.

Meyer, D.E., Abrams, R.A., Kornblum, S., Wright, C.E., & Smith, J.E.K. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. Psychological Review, 95, 340-370.

Patla, A.E., Adkin, A., Martin, C., Holden, R., & Prentice, S. (1996). Characteristics of voluntary visual sampling of the environment for safe locomotion over different terrains. Experimental Brain Research, 112, 513-422.

Proteau, L. (1992). On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. In L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control (pp 67-103). Amsterdam: North Holland.

Proteau, L. (1995). Sensory integration in the learning of an aiming task. Canadian Journal of Experimental Psychology, 49, 113-120.

Proteau, L., & Cournoyer, J. (1990). Vision of the stylus in a manual aiming task: The effects of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 42B, 811-828.

Proteau, L., & Marteniuk, R.G. (1993). Static visual information and the learning and control of a manual aiming movement. Human Movement Science, 12, 515-536.

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, 181-199.

Proteau, L., Marteniuk, R. G., & Lévesque, L. (1992) A sensorimotor basis for motor learning: Evidence indicating specificity of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A, 44, 557-575.

Robertson, S., Collins, J., Elliott, D., & Starkes, J. (1994). The influence of skill and intermittent vision on dynamic balance. Journal of Motor Behavior, 26, 333-339.

Salmoni, A.W., Schmidt, R.A., & Walter, C.B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical re-appraisal. Psychological Bulletin, 95, 355-386.

- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, 82, 225-260.
- van der Meulen, J.H.P., Gooskens, R.H.J.M., Denier van der Gon, J.J., Gielen, C.C.A.M., & Wilhem, K. (1990). Mechanism underlying accuracy in fast goal-directed arm movements in man. Journal of Motor Behavior, 22, 67-84.
- Whiting, H.T.A., Savelsbergh, G.J.P., & Pijpers, J.R. (1995). Specificity of motor learning does not deny flexibility. Applied Psychology: An International Review, 44, 315-332.

Authors Note

Correspondence should be addressed to Luc Proteau, Département d'éducation physique, Université de Montréal, P.O. Box. 6128, Station "Centre Ville", Montréal, Canada, H3C 3J7. (Email: proteau@ere.umontreal.ca). This research was supported by a grant from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada awarded to the first author.

Footnote

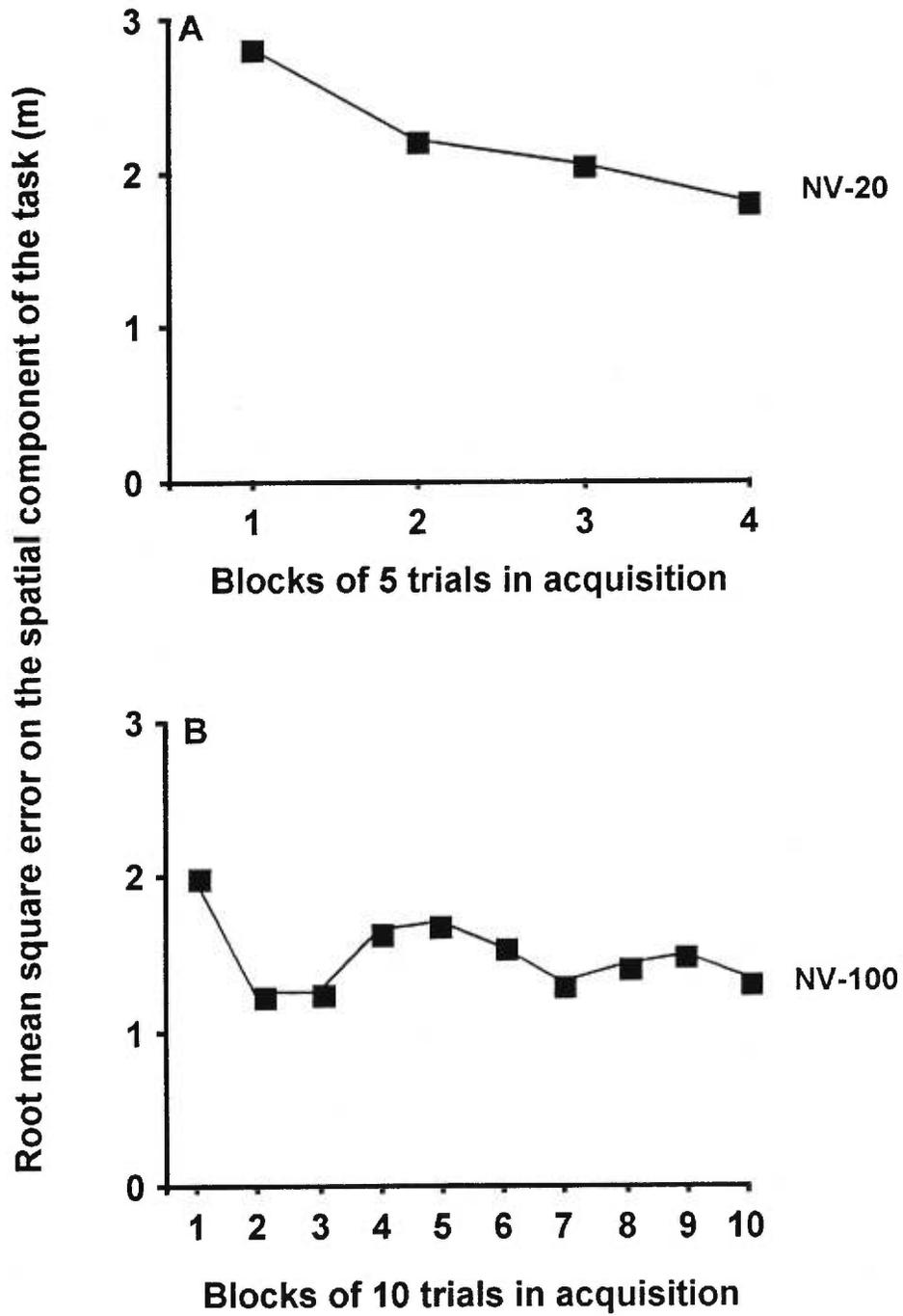
¹ We used a Walkman to prevent subjects from receiving auditory cues available in the form of possible squeaking sounds from the floor. Also, it is worth mentioning that pilot testing indicated the need for an opaque blindfold rather than a translucent one because subjects were able to use cues coming from variations in the levels of illumination in the experimental room to evaluate deviations from the target line.

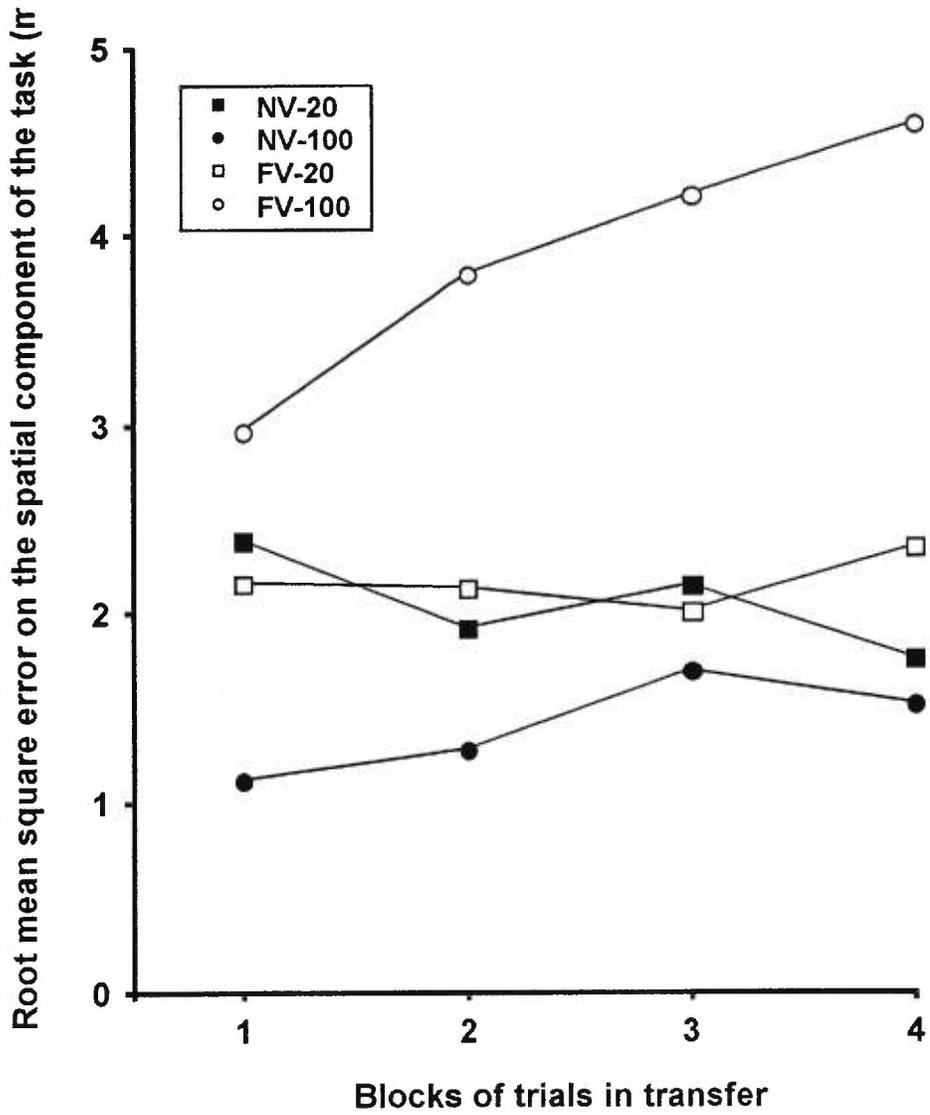
² The same analysis computed using the data of all subjects revealed a significant main effect of the visual feedback condition, $F(1, 28) = 7.8, p < .05$, as well as a trend towards a significant interaction between the visual feedback condition and the levels of practice, $F(1, 28) = 3.06, p = .09$. The mean RMSE for each group was of 2.04 m, 1.67 m, 2.47 m, and 3.52m for the NV-20, NV-100, FV-20 and FV-100 conditions, respectively.

Figures Captions

Figure 1. Root Mean Square Error (in meters) for the Spatial Component of the Task as a Function of Practice in the No-Vision Condition: top panel (20 trials of acquisition), bottom panel (100 trials of acquisition).

Figure 2. Root Mean Square Error (in meters) for The Spatial Component of the Task as a Function of the Visual Feedback Conditions, the Levels of Practice and the Blocks of Trials Performed in Transfer.





Proteau et al., Figure 2

Specificity of Practice: The Case of Powerlifting

Luc Tremblay and Luc Proteau

Département d'éducation physique

Université de Montréal

Key words: specificity of practice hypothesis, motor learning, motor control, guidance hypothesis.

Research Quarterly for Exercise and Sport, in press

Corresponding author:
Luc Proteau
Département d'éducation physique
Université de Montréal
2100 Edouard Montpetit
Post Office Box 6128, Station 'Downtown'
Montréal, Canada, H3C 3J7
Phone: (514) 343-2039
Fax: (514) 343-2181
Email: proteau@edphys.umontreal.ca

Specificity of Practice: The Case of Powerlifting

A key fundamental concern related to the design of effective practice conditions is the source of afferent information used to control one's actions. For example, knowing the pertinent sources of afferent information used by experts to control their movement might help the practitioner to direct the attention of his/her novice athletes to these sources of afferent information. One hypothesis has been that vision is a main source of afferent information for motor control early in practice, but it is gradually replaced by kinesthetic information (Fleishman & Rich, 1963). A second hypothesis rather proposed that afferent information plays an important role for movement control early in learning but that its importance decreases with practice in favor of the development of motor programs (Schmidt, 1975). Because we have already reviewed this work elsewhere (Proteau, 1992) we will simply state that supporting evidence for the first hypothesis is difficult to find (Cox & Walkuski, 1988) whereas the second point of view has been largely abandoned in recent views of motor control (McCloskey & Prochazka, 1994).

A third hypothesis emerged from a series of studies in which the role of visual afferent information in the control of linear positioning or of aiming tasks has been studied as a function of the amount of practice given to participants (see Proteau, 1992 for a review). Typically, even after extensive practice (i.e., 2,000 trials), having vision available in an acquisition phase resulted in better spatial accuracy than in a condition for which only

the target to be reached was visible. This indicates that some aspects of the visual information available were still used by the participants to optimally guide their movement. In addition, withdrawing vision in a transfer test resulted in a large and significant increase in error, regardless of the amount of practice performed in normal vision prior to transfer. This indicates that the withdrawal of vision deprived participants from the source of afferent information which ensured optimal performance in acquisition, and also that the remaining sources of afferent information could not ensure optimal performance. Thus, learning appeared to have been specific to the source of afferent information (e.g., vision) which ensured optimal performance in practice. Moreover, there was some evidence suggesting that specificity could increase with practice. Specifically, the increase in error noted in transfer has been shown to be larger after more rather than after fewer acquisition trials, although opposite trends have also been reported (Proteau & Marteniuk, 1993). Overall, results from these studies indicate that the role played by visual afferent information in movement control remains as important after extensive practice as it does after modest practice. Further, these data suggest that learning is specific to the afferent information used to ensure optimal performance during practice.

The specificity of practice hypothesis has recently been challenged by Bennett and Davids (1995). They tested the hypothesis with expert and non expert powerlifters. All participants randomly performed three powerlift squats in each of three visual conditions: full vision (FV), ambient vision (AV) , and no vision (NV). In the FV condition,

participants performed the powerlift squat in front of a full length mirror. In the AV condition, the participants performed the task while visually fixating on a point overhead. Finally, in the NV condition, the participants wore a blindfold. Points were awarded as a function of the posture taken by participants at the low point of their squat. The results showed that the non experts obtained their best score in the FV condition (their normal training condition), but that their score decreased in the AV condition (Experiments 1 and 2), and in one experiment (Experiment 1) decreased even further in the NV condition. The experts, however, had a near perfect score in the AV condition (their normal training condition) and maintained this high level of performance in both the FV and the NV conditions. Bennett and Davids (1995) suggested that 'the data support the view that the utility of visual information, although important for accurate movement regulation early in learning, decreases as a function of task expertise' (p. 216). They also concluded that their data indicated a boundary to the specificity of practice effect because the task does not seem exclusively dependent on the sources of information available in learning.

Bennett and Davids' (1995) conclusion regarding the specificity of practice hypothesis should be considered with some caution. This is the case because, as developed above, our hypothesis states that learning is specific to the source(s) of afferent information which permit(s) one to obtain optimal performance during practice (Proteau, 1992). We suggest that, at least for the expert participants, the visual information available in either the FV and the AV conditions used by Bennett and Davids (1995) did not meet

this criteria. We reached this conclusion concerning the FV condition because Bennett and Davids' expert participants indicated that they never trained in such a condition. The information available in the AV condition is also of questionable utility to ensure optimal performance. This is the case because the visual information available in the AV condition is never the same from one competition site to the other (Bennett & Davids, 1995). In consequence, it might be that experts trained in this condition to help keep proper balance during each lift rather than as a guide to reach adequate positioning during practice. Thus, given the fact that experts never trained in the FV condition and our proposition that the AV condition does not provide afferent information likely to optimize the participant's performance compared to the NV condition (one goal of the present is to test this proposition), it is hardly surprising that experts performed similarly in the FV, the AV, and the NV conditions.

In the present study we wanted to determine whether the specificity of practice hypothesis holds for a gross motor skill when the practice condition is such that a source of afferent information is used by participants to ensure optimal performance. Further, we wanted to determine whether practice in such a context would result in increased specificity as a function of practice. To reach our goals, participants practiced for either 20 or 100 trials a task very similar to the powerlift squat. Practice occurred in either a NV or an AV conditions similar to those used by Bennett and Davids (1995) or, in an enriched visual context providing useful visual information for movement control. Rather than

having participants train in front of a mirror as in Bennett and Davids' (1995) study, we attached an infrared pointer to their right thighs. The light beam of this pointer could easily be used by participants to determine whether a 'perfect' powerlift squat position had been reached (condition Laser). Following acquisition, all participants were submitted to a transfer test performed in the NV condition, with no KR.

As indicated above, our first goal was to test the proposition that ambient visual information plays, at best, a minor role for optimizing performance of the powerlift squat. According to the specificity of practice hypothesis, this proposition would be supported if this training condition resulted in similar acquisition and transfer performances as the NV condition. Second, if the Laser condition provides afferent information which optimizes participants performance, it should result in a better performance in acquisition than the NV condition. If this is the case, and if practice is specific to the afferent information used to ensure optimal movement accuracy during acquisition, then withdrawing this source of information in transfer should result in larger positioning errors than that found for the NV condition. Moreover, if this increase in error is a function of the amount of practice, then increased specificity of practice would be demonstrated. On the contrary, if as reported by Bennett and Davids (1995) for their FV condition, participants became less dependent on this source of information as a function of practice, then transferring from the Laser condition to the NV condition should be less detrimental after 100 than after 20 trials of practice.

Method

Participants. Sixty undergraduate students participated in this experiment ($M = 22.1$ yr., $SD = 2.1$). All procedures in the study were conducted in accordance with the use of human participants and informed consent guidelines.

Task and Apparatus. Participants were asked to practice the powerlift squat in order to consistently reach a 'perfect' position in a movement time of 2,000 ms. This position is reached when the knees and lower body are bent so that the top surface of the thighs are lower at the hip than at the knee. In the starting position they stood upright with their heels resting on a 4.4 cm thick piece of wood. This piece of wood resulted in better balance while performing the squat and ensured that the ankle remained at a relatively fixed angle during execution of the squat. Also, participants held a wooden bar (0.92 meters long and weighing 358 grams) in front of them which rested on their iliac crests. The extremities of this bar each rested against nearly vertical guides. Participants were asked to slide the bar on these guides as they performed the squat. This ensured that they kept their backs flat while performing the task. In addition to minimizing the risk of back injuries, this ensured that the participants' task involved only knee flexion. A custom-made goniometer was affixed to the external side of the participants' right knees. It consisted of two pieces of Plexiglas attached at one end to the axle of a digital potentiometer (accuracy of 0.3515 degree). This goniometer was sampled by a micro-computer at a frequency of

1,000 Hz and permitted to register the angle made by the participants' thighs and calves as they performed the powerlift squat. For participants who trained in the Laser condition (see procedures), an infrared penlight was affixed on the end of the goniometer attached to their thighs. The infrared beam was projected on a white wall located 1.6 meters in front of them. A metric tape was pasted on that wall directly in line with the beam of the infrared light. Finally, participants wore a microphone which was interfaced with the micro-computer. This microphone detected a verbal signal emitted by the participant (the word 'TOP'), indicating that they thought that a 'perfect' squat position had been reached, and thus stopped data collection.

Procedures. There were three experimental phases: calibration, acquisition, and transfer. The first experimental phase was similar for all participants and lasted approximately five minutes. Following explanation of the task, participants were fitted with the goniometer and asked to assume a 'perfect' squat position. The Experimenter verbally guided the participants to the actual perfect position and the laboratory computer registered the corresponding angle of the goniometer. Thus, the angle between the participant's thigh and calf corresponding to a perfect squat was individually defined. Also, for the participants who practiced the task in the Laser condition, the Experimenter noted the height on the facing wall at which the infrared beam was positioned when the 'perfect' position had been assumed.

Following calibration, participants were assigned to one of six groups ($n = 10$) differentiated by the number of practice trials performed during acquisition (20 or 100) and by the condition of vision under which it was performed (NV, AV, or Laser). There were three female and seven male participants in each of the groups. The lower level of practice was determined somewhat arbitrarily but with the intent of representing an initial performance level. The higher level of practice had been determined following a pilot study. It represented approximately 70% of the maximum number of trials that could be performed by participants from our population in a single experimental session without fatigue affecting their performance. The NV and AV conditions were similar to those used by Bennett and Davids (1995) with the exception that the experiment took place in a dark room which eliminated the need for a blindfold in the NV condition. In the Laser condition, participants were informed of the height at which the infrared beam should be projected on the facing wall for a perfect squat position to be reached. In all conditions, participants were asked to perform the experimental task in a movement time of 2,000 ms. Movement initiation followed a verbal invitation by the Experimenter to perform a trial. It was defined as the moment at which the angle of the goniometer had been reduced by one degree. Data collection was stopped automatically when the participant verbally indicated by saying 'TOP' that he/she had reached the pre-defined 'perfect' squat position. As in previous work on the specificity of practice hypothesis (see Proteau, 1992), each trial of acquisition was followed with verbal KR. It informed the participants of their movement

times (MT in ms) and of the amount and the direction of the deviation, if any, of the angles made by their thighs and calves from the target angle (in degrees). Following a 5 to 10 second rest, participants were invited to perform a new trial. Immediately following the last trial of acquisition, all participants performed a 20-trial transfer test. In all cases it was performed in the NV condition with no KR. Participants never complained that fatigue might have lowered their performance.

Data analyses. First, we compared the performance in acquisition of the participants submitted to the NV, AV, or Laser conditions. As in previous work (Proteau & Marteniuk, 1993; Proteau, Tremblay, & DeJaeger, in press), independent analyses were computed for each amount of practice. For the participants who trained for 20 trials, the root mean square error (RMSE) of positioning was submitted to a 3 conditions of practice (NV, AV, Laser) x 2 blocks of 10 practice trials ANOVA with repeated measurements on the last factor. For the participants who trained for 100 trials, the same dependent variable was submitted to a 3 conditions of practice x 10 blocks of 10 practice trials ANOVA with repeated measurements on the last factor. Second, we compared the participants' performance in transfer following 20 or 100 acquisition trials. Specifically, the RMSE of positioning was submitted to a 3 conditions of practice (NV, AV, Laser) x 2 amounts of practice (20 vs. 100 trials) x 2 blocks of trials ANOVA with repeated measurements on the last factor.

We chose to report only the RMSE data because this dependent variable summarizes the participants' bias and variability in performance ($RMSE^2 = \text{constant error}^2 + \text{variable error}^2$). However, we also computed the same type of analysis as that described above for the constant (CE), variable (VE), and absolute constant ($|CE|$) errors of positioning, as well as for mean MT and σ MT. The results of the analyses computed on CE, VE and $|CE|$ of positioning were in line with those reported for RMSE, whereas those computed for mean MT and σ MT generally indicated that participants had no difficulty in meeting the temporal demands of the task. Specific results of these analyses will be reported only when additional information can be gained. All effects reported are at $p < .05$.

Results

Acquisition

The RMSE of positioning of participants who practiced the task for 20 trials is illustrated in Figure 1 (open markers). The ANOVA computed on this dependent variable revealed a significant interaction between the conditions of practice and the blocks of trials, $F(2, 27) = 5.21, p < .05, \omega^2 = 0.14$. The breakdown of this interaction using the Newman-Keuls technique revealed that practicing in the Laser condition led to a very low RMSE from the first block of practice. This condition led to a significantly lower RMSE than did the NV condition, which resulted in a large and equivalent RMSE for the two

blocks of trials. Finally, participants who practiced in the AV condition showed a rapid and significant reduction of RMSE from block 1 to block 2.

For participants who performed 100 acquisition trials, the ANOVA computed on the RMSE of positioning revealed a significant main effect of the conditions of practice, $F(2, 27) = 3.84, p < .05, \omega^2 = 0.06$. As illustrated in Figure 1 (filled markers), condition Laser (1.85°) resulted in a significantly lower spatial RMSE than the NV condition (2.72°). The AV condition led to a RMSE of positioning (2.41°) which did not differ from either that noted for the Laser or for the NV condition. Finally, Figure 1 also illustrates that practice led to a progressive decrease in the RMSE of positioning. This is supported by a significant main effect of the blocks of trials, $F(9, 243) = 7.10, p < .05, \omega^2 = 0.57$.

Transfer

The ANOVA revealed a significant main effect of the conditions of practice, $F(2, 54) = 4.8, p < .05, \omega^2 = 0.19$, indicating that practicing in the Laser condition resulted in significantly larger RMSE of positioning in transfer (4.81°) than did practicing in either the NV (3.24°) or the AV (3.08°) conditions, which did not differ from each other. Results of the supplementary analysis computed on the CE of positioning revealed that the larger RMSE noted for the Laser group was mostly caused by a larger undershooting of the target for this condition (-2.91°) than for the NV and AV conditions (-0.2° and -0.8° , respectively), $F(2, 54) = 4.38, p < .05, \omega^2 = 0.20$. This larger undershooting of the target for the Laser group resulted in a significantly lower MT for the former (1,781 ms) than for

the latter two conditions (1,965 ms and 1,991 ms, respectively), $F(2, 54) = 7.20$, $p < .05$, $\omega^2 = 0.22$.

Discussion

Our objective was to determine whether the specificity of practice hypothesis holds for the learning of a gross motor skill for which visual cues ensure optimal accuracy, and also whether practice would result in increased specificity as a function of practice for this type of task. Two lines of evidence supported the specificity of practice hypothesis. As hypothesized, with the exception of the second block of acquisition for the participants who practiced the task for 20 trials, having ambient vision available during acquisition did not result in a significantly lower RMSE of positioning than performing the task in the NV condition. Moreover, performance of participants who had practiced in these two conditions were not statistically different in transfer where both ambient vision and KR had been withdrawn for the AV groups and only KR withdrawn for the NV groups. This result is in keeping with that reported by Bennett and Davids (1995) and suggests that ambient vision was not used in controlling execution of the powerlift squat. However, this supports the specificity of practice hypothesis (Proteau, 1992) because it shows that it is only the withdrawal of afferent information used to ensure optimal accuracy which causes a deleterious effect on performance.

The second line of support for the specificity of practice hypothesis comes from the results reported for the Laser condition. The enriched visual information available in this

condition led to a lower RMSE of positioning than the NV condition, indicating that it was used for motor control. As hypothesized, its withdrawal in transfer resulted in a significant increase in error after either 20 and 100 trials of practice. Thus, these results suggest that, if a source of afferent information which optimizes performance during practice is withdrawn, a severe decrease of performance is to be expected. The similarity of these results with those obtained using manual aiming and positioning tasks (see Proteau, 1992 for a review), as well as precision walking (Proteau et al., in press) indicates that the specificity of practice hypothesis applies to various types of tasks.

An alternative hypothesis, although not incompatible with the specificity of practice hypothesis, could also be proposed to explain the results obtained in the present study. The guidance hypothesis suggests that receiving concurrent augmented feedback and/or frequent post-trial KR during acquisition results in better performance but in degraded learning than when such information is not available or is less frequent. The guidance hypothesis (see Swinnen, 1996 for a review) suggests that degradation in learning results from the possibility that concurrent augmented feedback and/or too frequent KR might prevent one from processing afferent information and other possible sources of information available in acquisition. This leaves one without valid sources of reference when this information is no longer available. The Laser condition in the present study certainly provided concurrent augmented feedback. Also, although post-trial verbal KR was available for all participants in acquisition, one could argue that the information

available in the Laser condition served as a source of enriched, very precise and readily usable KR on which participants soon became dependent. Both arguments would explain why the Laser condition resulted in very good performance but also in relatively poor learning of the powerlift squat. Concerning the enriched KR available in the Laser condition, we have recently shown that seeing one's hand only as it was hitting (Proteau & Marteniuk, 1993) or crossing a target (Abahnini & Proteau, 1997) provided a form of KR with a potent guidance effect when compared to verbal KR only. However, a larger deterioration of performance in transfer was also found when participants could see their hand from the starting position until it reached the target in contrast with when they could only see it as it hit the target (Proteau & Marteniuk, 1993), suggesting that the pattern of results observed in that work as well as in the present study could not be explained solely by the guiding effect of very precise KR.

Although the results supported the specificity of practice hypothesis, its associated prediction that this specificity increases with practice was not supported because withdrawing vision of the laser beam in transfer had similar effects after 20 and after 100 trials of practice. One might argue that 100 trials of practice was not enough to support the hypothesis. This interpretation is not sufficient in itself because the hypothesis has been supported in at least one study (Adams, Goetz, & Marshall, 1972) in which participants practiced the task for approximately the same number of trials. Alternately, because the participants had already reached a plateau in performance after 20 trials of practice in the

Laser condition, this might indicate that 20 trials were sufficient to optimally use the afferent information available in the Laser condition. Therefore, the withdrawal of that information in transfer would result in a similar decrease in performance for 20, 100, or even 1,000 practice trials. This raises the question of the nature of processes causing the specificity of practice effect.

In our previous work, we have advocated that practice gradually resulted in different sources of afferent information used for motor control being integrated into a unique reference store. However, in the present study, as in some previous work (Proteau & Marteniuk, 1993), support for this increased integration was not found. A possible explanation of why this effect is not always observed might be that, regardless of the task one practices, there is a source of afferent information which is best suited to ensure optimal performance (the laser beam in the present study) and that it progressively dominates other sources of afferent information. Withdrawing such a source of afferent information early in practice would be less detrimental than doing so later in practice because its dominance has not yet been established. Moreover, this view would suggest that withdrawing this source of afferent information at any point beyond that at which its dominance has been firmly established would result in a similar increase in error regardless of the amount of practice. This proposition, which is consistent with the plateau in error increase found in the transfer phase of the present study, is very similar to the guiding effect associated with concurrent augmented feedback. In both this revised version of the

specificity of practice hypothesis and in the guidance hypothesis, it is proposed that one predominantly processes the source of afferent information which is either easier to use or more likely to improve performance in detriment to the processing of other sources of afferent information. In the present study, the Laser condition provided a source of afferent information of such quality and ease of use that it might have rapidly dominated any other sources of afferent information which would explain why specificity has not been shown to increase with practice. In conclusion, regardless of whether the specificity of practice hypothesis, the guidance hypothesis or both best account for our findings, the results of the present study strongly argue against the constant use of visual aids during training sessions if these aids are proscribed in competition.

References

Abahnini, K., & Proteau, L. (1997). The effect of peripheral visual information and visual knowledge of results on the directional control of aiming movement. Submitted for publication.

Adams, J.A., Goetz, E.T., & Marshall, P.H. (1972). Response produced feedback and motor learning. Journal of Experimental Psychology, 92, 391-397.

Bennett, S.J., & Davids, K. (1995). The manipulation of vision during the powerlift squat: Exploring the boundaries of the specificity of learning hypothesis. Research Quarterly for Exercise and Sport, 66, 210-218.

Cox, R.H., & Walkuski, J.J. (1988). Kinesthetic sensitivity and stages of motor learning. Journal of Human Movement Studies, 14, 1-10.

Fleishman, E. A., & Rich, S. (1963). Role of kinesthetic and spatial-visual abilities in perceptual-motor learning. Journal of Experimental Psychology, 66, 6-11.

McCloskey, D.I., & Prochazka, A. (1994). The role of sensory information in the guidance of voluntary movement: reflections on a symposium held at the 22nd annual meeting of the Society for Neuroscience. Somatosensory and Motor Research, 11, 69-76.

Proteau, L. (1992). On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. In L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control (pp 67-103). Amsterdam: North Holland.

Proteau, L., & Marteniuk, R.G. (1993). Static visual information and the learning and control of a manual aiming movement. Human Movement Science, 12, 515-536.

Proteau, L., Tremblay, L., & DeJaeger, D. (in press). Practice does not diminish the role of visual information for on-line control of a precision walking task: Support for the specificity of practice hypothesis. Journal of Motor Behavior

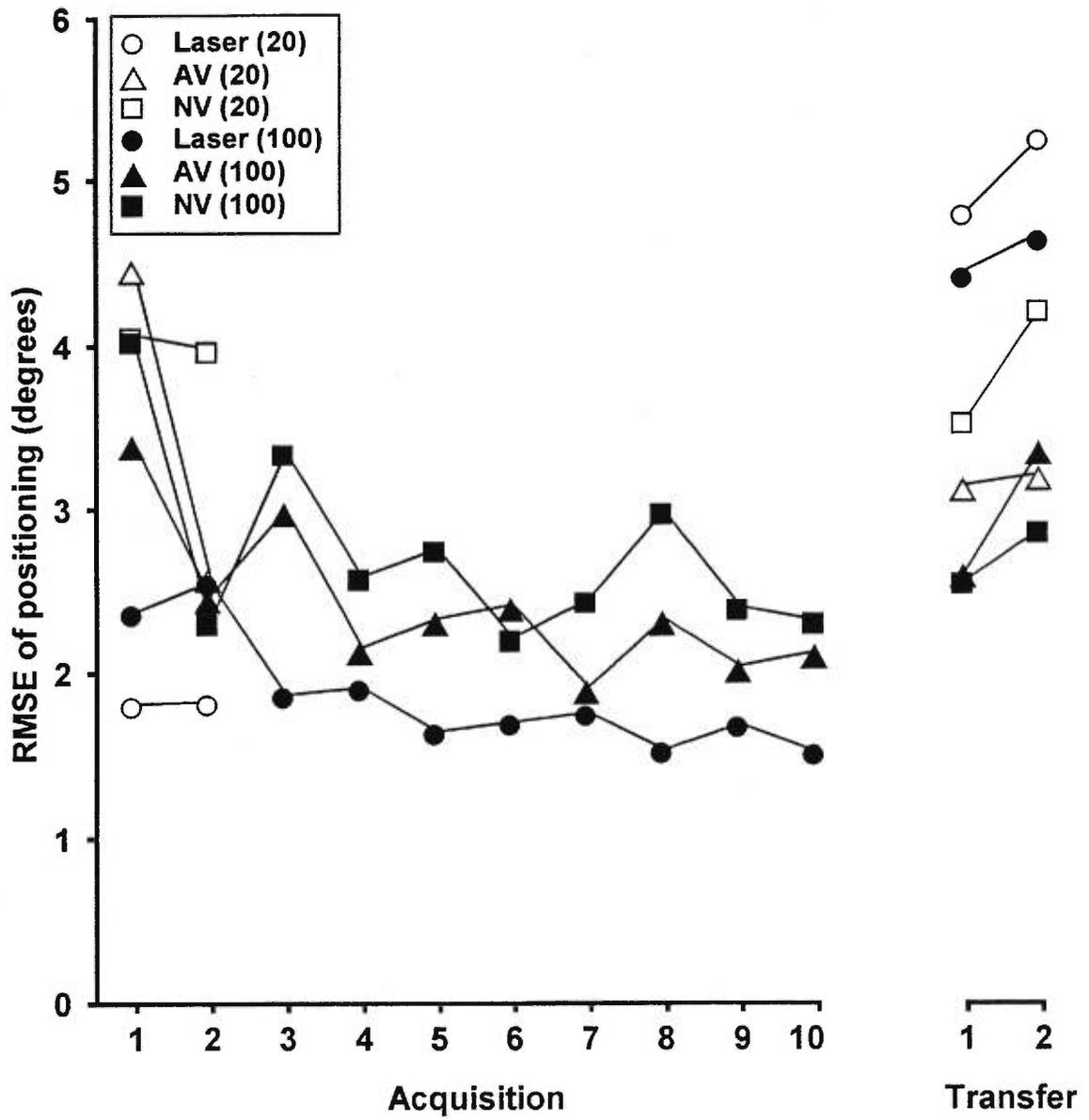
Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, 82, 225-260.

Authors' Note

Correspondence should be addressed to Dr. Luc Proteau, Professor, Département d'éducation physique, Université de Montréal, P.O. Box. 6128, Station "Downtown", Montréal, Canada, H3C 3J7. (Email: proteau@edphys.umontreal.ca). This research was supported by a grant from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, awarded to Luc Proteau.

Figure captions

Figure 1. Root mean square error of positioning for the powerlift squat as a function of the conditions of practice, the experimental phases, and of the blocks of trials.



Sujet: Spécificité de la pratique

Spécificité de la pratique et dominance sensorielle pour l'interception de balles

Luc Tremblay et Luc Proteau

Département de kinésiologie

Université de Montréal

Montréal, Québec, Canada

Mots clés: spécificité de la pratique, informations visuelles, interception de balles.

Résumé

L'hypothèse de la spécificité de la pratique (HSP) propose que l'apprentissage d'une tâche motrice est spécifique aux sources d'afférence disponibles lors de la pratique. Dans la présente étude, nous avons utilisé une tâche d'interception de balle semblable à celle utilisée dans une étude dissidente (Whiting, Savelsbergh et Pijpers, 1995). Seize participants ont pratiqué la tâche expérimentale sous une condition de vision normale (VN) ou alors que seule la balle projetée vers eux était visible (VB). Chaque essai d'acquisition était suivi de connaissance du résultat (CR). Par la suite, tous les participants ont réalisé la tâche expérimentale sous la condition VB, sans CR, alors que les trajectoires empruntées par la balle étaient identiques à celles utilisées en acquisition ou, au contraire, étaient plus variables. Les résultats obtenus supportent partiellement l'HSP. Ainsi, l'opportunité de voir sa main et l'environnement ambiant dans ce type de tâche procure un avantage, quoique relativement modeste, par rapport à la condition VB. Cependant, l'augmentation de la variabilité des trajectoires de balles a entraîné une chute marquée de la performance des participants. Ces résultats suggèrent des modes de contrôle différents pour des tâches de pointage manuel et d'interception.

Il faut souvent atteindre des objets. Lorsque ces objets sont fixes, on sait que les afférences visuelles disponibles avant le mouvement sont utiles pour sa programmation (Desmurget, Rossetti, Jordan, Meckler, et Prablanc, 1997 ; Desmurget, Rossetti, Prablanc, Stelmach, et Jeannerod, 1995 ; Rossetti, Desmurget et Prablanc, 1995 ; Rossetti, Desmurget, Stelmach, Prablanc, et Jeannerod, 1994 ; Prablanc, Echallier, Jeannerod et Komilis, 1979). Toutefois, on obtient une performance optimale seulement lorsque la vision de la main en mouvement est aussi possible (Proteau et Marteniuk, 1993).

Contrairement à certaines propositions antérieures (Fleishman et Rich, 1963 ; Pew, 1966 ; Schmidt, 1975), l'importance de la vision de la main pour assurer la précision spatiale du mouvement ne semble pas diminuer avec la pratique. Ainsi, dans une série de travaux récents utilisant une tâche de pointage, Proteau et ses collaborateurs ont démontré que le retrait de cette source d'afférence, suite à une période de pratique où elle était disponible, entraînait une forte augmentation de l'erreur de pointage. Donc, ce qui a été appris lors de la pratique semble être spécifique à la disponibilité de cette source d'afférence (Proteau, Marteniuk, Girouard et Dugas, 1987 ; Proteau et Cournoyer, 1990 ; Proteau, Marteniuk et Lévesque, 1992 ; Proteau et Marteniuk, 1993 ; Proteau, 1995). Qui plus est, l'augmentation de l'erreur de pointage notée plus haut était, en certaines occasions, fonction de la quantité de pratique effectuée avant ce retrait (Proteau et al., 1987 ; Proteau et Cournoyer, 1990). Ces deux observations suggèrent, d'une part, que l'apprentissage est spécifique aux sources d'afférence disponibles lors de la pratique et,

d'autre part, que cette spécificité est fonction de la quantité de pratique réalisée sous une condition d'afférence particulière. Ces observations sont souvent regroupées sous l'appellation 'd'hypothèse de la spécificité de la pratique' (HSP).

L'HSP a été contestée dans certains travaux récents où les auteurs s'intéressaient à l'apprentissage de tâches sportives. En utilisant une tâche de marche sur poutre d'équilibre, Robertson, Collins, Elliott et Starkes (1994) ont observé que des gymnastes expertes n'étaient pas autant affectées par le retrait des informations visuelles que des novices. Ce résultat était contraire à ceux rapportés par Proteau et ses collaborateurs qui avaient observé une augmentation de l'erreur lors du retrait de la vision, et ce, en fonction de la quantité de pratique. Toutefois, les résultats de Robertson et al. (1994) peuvent être dus au fait que les gymnastes expertes avaient probablement souvent réalisé la tâche expérimentale en condition de non-vision lors de leurs entraînements réguliers. De plus, ces participantes avaient probablement aussi appris à se servir efficacement des informations proprioceptives résultant du contact de leur pied sur la poutre d'équilibre pour contrôler leur déplacement. Cette dernière source d'information était toujours disponible dans la condition de non-vision et les expertes ont sûrement pu bénéficier d'un avantage important par rapport aux novices. Dans une étude subséquente, Robertson et Elliott (1996) ont repris la même tâche expérimentale mais en y ajoutant une condition de vision modifiée. Pour cette condition, les participantes portaient des lunettes prismatiques qui modifiaient la nature des afférences visuelles disponibles. Les auteurs ont observé que dans cette condition, les expertes et les novices présentaient plus d'erreurs de forme

(déséquilibres et autres pertes d'alignement corporel) que dans la condition de non-vision. Cependant, les expertes présentaient toujours un niveau de performance supérieur à celui des novices. Encore une fois, la meilleure performance des expertes peut résulter d'une meilleure utilisation des informations provenant du contact des pieds sur la poutre.

Pour vérifier cette dernière proposition, Proteau, Tremblay, et DeJaeger (1998) ont utilisé une tâche de marche de précision sur une ligne tracée au sol afin d'éliminer le guide proprioceptif que représente la poutre. Lors de cette étude, nous avons formé quatre groupes de participants pour la phase d'acquisition. Ces groupes se distinguaient par le nombre d'essais de pratique et par les conditions d'afférence: 20 essais en vision (V20), 100 essais en vision (V100), 20 essais en non-vision (NV20) et 100 essais en non-vision (NV100). Suite à cette phase d'acquisition, tous les participants étaient soumis à une condition de transfert réalisée en non-vision (20 essais), et ce, sans connaissance du résultat (CR). L'évaluation de la performance des participants se faisait à partir de l'écart retrouvé entre la position de ceux-ci et la ligne droite tracée au sol suite à un déplacement de 20 m.

Comme on pouvait s'y attendre, lors de l'acquisition, les participants dans la condition de vision ont pu facilement suivre la ligne tracée au sol tandis que les participants en non-vision ont présenté une déviation moyenne significativement plus élevée. De façon plus importante, le groupe NV100 a présenté une amélioration significative de sa précision spatiale au cours de l'acquisition. Les résultats du transfert supportent pleinement l'HSP. Le retrait des afférences visuelles a entraîné une diminution

de précision spatiale pour les participants du groupe V20 qui, alors, ne se distinguaient plus des participants du groupe NV20. Toutefois, le retrait des informations visuelles a eu un effet beaucoup plus important pour les participants du groupe V100. Pour ce groupe, le passage de la condition de transfert a entraîné une telle diminution de la précision spatiale que celui-ci devenait significativement moins précis que les trois autres groupes. Ces résultats supportaient donc pleinement l'HSP en indiquant que la pratique rend le participant de plus en plus dépendant des sources d'afférence utilisées pour contrôler le mouvement.

Pour leur part, Bennett et Davids (1995) ont démontré que des participants experts réalisaient tout aussi bien une tâche de 'powerlift squat' en contexte de vision normale qu'en contexte de non-vision alors que des participants novices étaient moins précis dans le contexte de non-vision. Pour ces auteurs, ce résultat allait à l'encontre de l'HSP. Toutefois, ce dernier résultat et son interprétation doivent être considérés avec circonspection. D'une part, il faut noter que les participants experts de cette étude indiquaient ne jamais se servir d'information visuelle particulière lors de leurs entraînements¹. Donc, le fait de retirer une source d'information qu'ils n'utilisaient pas n'a pas eu d'effet sur leur performance, ce que prédisait l'HSP. D'autre part, une étude récente a permis de démontrer que les informations visuelles ambiantes normalement

¹ Lors d'un questionnaire soumis aux participants durant l'étude.

disponibles en contexte naturel ne sont pas utiles pour ce geste sportif (Tremblay et Proteau, sous presse).

De façon spécifique, Tremblay et Proteau (sous presse) ont utilisé une tâche semblable à celle du 'powerlift squat'. Six groupes de participants se distinguaient les uns des autres par le nombre d'essais d'acquisition (20 ou 100) et par la nature des afférences visuelles disponibles lors de l'acquisition (non-vision, vision normale ambiante, vision ajoutée). Pour la condition de vision ajoutée, un faisceau laser permettait au participant de juger l'à-propos de son geste technique. Les résultats d'une condition de transfert réalisée en non-vision, suite à la phase d'acquisition, indiquaient que seuls les participants ayant pratiqué la tâche sous la condition de vision ajoutée se révélaient incapables de produire avec précision la tâche expérimentale. Cependant, la quantité de pratique sous la condition de vision modifiée n'influait pas la performance de ces participants lors de la phase de transfert. En plus d'indiquer le rôle peu important des informations visuelles ambiantes pour l'apprentissage de cette tâche, ces résultats indiquent que l'apprentissage est spécifique aux sources d'afférence utilisées pour le contrôle du mouvement et non pas à toutes les sources d'afférence disponibles.

Finalement, Whiting, Savelsbergh, et Pijpers (1995) n'ont pas trouvé de support pour l'HSP lors de l'apprentissage d'une tâche d'attrapé de balles. Dans leur première expérience, les auteurs ont sélectionné des participants moins habiles que la moyenne pour ce type de tâche. Ces participants ont été répartis en trois groupes. Un groupe contrôle réalisait toute la phase d'acquisition en vision normale (VN) pour 600 essais. Les deux

autres groupes faisaient l'acquisition en vision de la balle seulement (VB) pour, respectivement, 360 ou 600 essais. Suite à la phase d'acquisition, tous les participants étaient soumis à une tâche de transfert comptant 100 essais et réalisée en condition VN.

Les résultats de cette étude indiquaient que le transfert de la condition VB à la condition VN permettait aux participants d'améliorer leur performance. Ce résultat allait à l'encontre de l'HSP puisqu'un changement des sources d'afférence lors du passage de l'acquisition au transfert résultait en une amélioration plutôt qu'en une détérioration de la performance (voir Elliott et Jeager, 1988 ; Proteau, Marteniuk, et Lévesque, 1992). Toutefois, la tâche expérimentale utilisée par Whiting et al. (1995) se démarquait grandement de la tâche de pointage utilisée dans les études de Proteau et de ses collaborateurs.

En premier lieu, la grandeur de l'erreur permise était beaucoup plus grande dans l'étude de Whiting et al. (1995) que dans celles de Proteau et de ses collaborateurs. En considérant que dans l'étude de Whiting et al. (1995), la variabilité des trajectoires de balle était contenue dans un cercle de 30 cm de diamètre et que la main d'un individu peut couvrir un cercle de 15 cm de diamètre, on comprend que l'aspect 'précision spatiale' de cette tâche était relativement faible. En effet, la surface de la main couvrait environ 45 % de l'espace dans lequel la balle était dirigée. À cet effet, Whiting et al. (1995) ont d'ailleurs dû choisir des participants présentant de faibles performances lors d'un pré-test puisque cette tâche était 'trop' facile pour certains participants (Savelsbergh et Whiting, 1988).

Outre la grandeur de l'erreur permise, le nombre d'essais de pratique réalisés préalablement à la phase de transfert, et de façon plus particulière, le rapport entre les différents niveaux de pratique utilisés devrait être considéré. Dans les travaux de Proteau et de ses collaborateurs, le niveau de pratique le plus élevé comptait au moins cinq fois plus d'essais que le niveau le moins élevé (100 essais / 20 essais). Toutefois, ce ratio n'était que de 1,66 (600 essais / 360 essais) dans l'étude de Whiting et al. (1995). Considérant que l'apprentissage est une fonction logarithmique du nombre d'essais d'acquisition (Annett, 1988), la probabilité de retrouver une différence significative entre les niveaux de pratique était donc considérablement réduite dans l'étude de Whiting et al. (1995).

Finalement, mais peut-être de façon plus importante, pour la majorité des travaux de Proteau et de ses collaborateurs, le participant n'était pas informé de son résultat lors du test de transfert ; une procédure souhaitable pour évaluer son apprentissage (Schmidt, 1988). La seule exception à cette règle est survenue dans l'étude de Proteau, Marteniuk et Lévesque (1992) pour laquelle les conditions d'acquisition étaient réalisées sans vision de la main mais où cette information était ajoutée en condition de transfert. Les participants étaient alors à même d'évaluer la précision de leur geste. Néanmoins, on notait une augmentation de l'erreur de pointage lors du passage de l'acquisition au transfert. Des résultats similaires ont été rapportés par Elliott et Jaeger (1988). La performance de pointage n'était cependant pas meilleure après 1200 essais d'acquisition qu'après seulement 200. Proteau et al. (1992) concluaient alors que l'apprentissage était spécifique

aux conditions d'afférence disponibles lors de l'acquisition et proposaient, entre autres, que le fait de voir sa main lors du transfert pouvait avoir permis aux participants de maintenir la même performance pour les deux niveaux d'acquisition. Similairement, la condition de transfert utilisée par Whiting et al. (1995) permettait une CR complète puisque le participant était bien informé du résultat de sa performance lorsqu'il attrapait ou non la balle. De plus, cette phase de transfert comptait 100 essais avec cette CR et les auteurs ne rapportent que la performance moyenne des participants pour l'ensemble des essais de cette phase. Alors, il est fort possible que les participants aient pu améliorer significativement leur performance au cours de cette phase expérimentale. L'HSP aurait été évaluée de façon plus équitable si seuls les premiers essais de la phase de transfert avaient été retenus. Ainsi, le premier but de la présente étude est de revoir l'à-propos de l'HSP pour une tâche d'interception de balles en évitant les trois lacunes soulevées plus haut.

Le second but de l'étude est d'évaluer ce que la phase d'acquisition permet d'apprendre. Dans une tâche d'interception de balles, le participant apprend plus qu'à simplement placer sa main au bon endroit. Il doit aussi apprendre à évaluer la trajectoire de la balle. Ainsi, il est possible que la performance retrouvée en transfert dans l'étude de Whiting et al. (1995) soit au moins partiellement due au fait que les trajectoires étaient les mêmes en acquisition et lors du transfert.

Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons utilisé un paradigme de transfert semblable à celui utilisé dans les travaux de Proteau et de ses collaborateurs. Lors de la

phase d'acquisition, certains participants réalisaient une tâche d'interception de balle dans une condition de vision normale, alors que pour d'autres participants seule la balle à intercepter était visible. Les participants étaient soumis à deux tâches de transfert, et ce, après 50 essais d'acquisition puis à nouveau après 400 essais supplémentaires d'acquisition. Pour la première tâche de transfert, seule la balle était visible, et ce, sans CR. Les trajectoires utilisées étaient les mêmes qu'en acquisition. L'HSP serait confirmée si le retrait de la vision entraînait une augmentation de l'erreur d'interception. Qui plus est, si cette spécificité augmente en fonction de la pratique, cette augmentation de l'erreur d'interception devrait être plus marquée après 450 essais d'acquisition plutôt qu'après seulement 50 essais d'acquisition.

La deuxième tâche de transfert était, elle aussi, réalisée alors que seule la balle était visible et sans CR. Toutefois, les balles étaient alors projetées sur des trajectoires différentes de celles utilisées lors de l'acquisition et lors de la première tâche de transfert. Si la bonne performance retrouvée par Whiting et al. (1995) lors de leur test de transfert peut être attribuée au fait que les participants avaient appris à reconnaître les différentes trajectoires utilisées lors de l'acquisition, alors le passage de l'acquisition à la première phase de transfert devrait avoir un effet beaucoup moins marqué sur la précision d'interception que celui noté lors du passage à la seconde phase de transfert.

Participants

Seize étudiants inscrits au programme de baccalauréat en éducation physique de l'Université de Montréal (12 femmes et 4 hommes) ont participé à l'expérience. Tous les

participants ignoraient le but de l'expérience, étaient droitiers et avaient une vision normale ou corrigée. Une compensation financière de 10\$/heure leur était offerte pour leur participation.

Tâche et appareillage

Les participants devaient réaliser une tâche d'interception de balle. En posant d'abord leur main dominante sur une base de départ située devant la partie inférieure de leur sternum, ceux-ci devaient intercepter avec leur index une balle projetée sur un écran placé devant eux.

L'appareillage était constitué d'une salle de projection, d'un lance-balle, et d'une surface d'interception. La salle de projection était située dans une chambre noire. Elle avait une hauteur de 2.30 m, une largeur de 1.25 m et une longueur de 2.55 m. Cette salle de projection pouvait être éclairée à l'aide d'une lampe incandescente ordinaire (60 W) ou à l'aide d'une lampe à ultraviolets (40 W).

Le lance-balle de fabrication commerciale utilisé pour projeter des balles de tennis de table (Robot Pong 2000) était assujéti à une table ordinaire et était situé à l'une des extrémités de la salle de projection. Ce lance-balle pouvait être programmé pour projeter les balles à des cadences et à des vitesses variées, et aussi suivant des trajectoires différentes. La balle était, en premier lieu, projetée sur le dessus de la table sur laquelle reposait le lance-balle pour ensuite être dirigée vers la surface d'interception. Le lance-balle était muni d'un couple 'source lumineuse-cellule photoélectrique', qui permettait de déterminer le moment exact auquel une balle était projetée. Tout au long de l'étude, les

balles étaient projetées à une cadence moyenne d'une balle à toutes les dix secondes.

Les balles mettaient en moyenne 624 ms ($\overline{ET} = 15$ ms) pour atteindre la surface d'interception.

La surface d'interception (1 m de haut sur 1 m de large) était située à l'autre extrémité de la salle de projection, à 1 mètre du sol, et directement en face du lance-balle. Cette surface était transparente (Plexiglas) et était munie de détecteurs servant à identifier où la balle projetée par le lance-balle l'avait atteint. Ces détecteurs consistaient en une matrice de fils de métal (0.5 mm de diamètre) espacés de 0.5 cm les uns des autres, et ce, aussi bien sur l'axe vertical que sur l'axe horizontal de la surface d'interception. L'arrivée de la balle faisait en sorte qu'un contact électrique était établi entre les fils horizontaux et verticaux situés entre la balle et la surface d'interception. Les fils mis en contact par l'arrivée de la balle étaient détectés par un ordinateur dédié à cette tâche. L'endroit exact du contact balle-surface d'interception pouvait ainsi être déterminé avec précision. Le moment auquel la balle arrivait en contact avec la surface d'interception était aussi déterminé par le même système.

Lors de l'expérimentation, les participants étaient assis à l'extérieur de la salle de projection, directement en face de la surface d'interception. Leur main dominante était posée sur une plaque de départ qui servait à déterminer s'ils amorçaient leur réponse avant la projection de la balle. La surface d'interception était couverte, du côté participant, du même type de détecteurs que ceux situés en face du lance-balle. Lorsque le participant tentait d'intercepter la balle projetée vers lui, il mettait en contact les uns avec les autres

les fils situés directement sous son doigt, ce qui permettait à l'ordinateur de déterminer où le participant avait touché la surface d'interception. Par le fait même, l'ordinateur 'calculait' l'écart entre la position activée par le participant et le point de contact de la balle avec la même surface. On déterminait aussi le délai qui existait entre, d'une part, le contact de la balle avec la surface d'interception et, d'autre part, le contact de l'index du participant avec la même surface.

La surface d'interception du côté participant était couverte d'une pellicule semi-transparente semblable à un miroir unidirectionnel. Cette pellicule faisait en sorte que si l'intérieur de la salle de projection était éclairé par la lampe incandescente, les participants pouvaient voir la trajectoire de la balle et le déplacement de leur main. Toutefois, si la salle de projection était éclairée par la lampe à ultraviolets, seule la balle était visible.

Procédures

Les participants ont pris part à deux sessions expérimentales séparées l'une de l'autre par une pause variant entre 45 et 60 minutes. Lors de la première session expérimentale, les participants prenaient part à cinq phases expérimentales. En premier lieu, lors d'un pré-test, ils réalisaient la tâche expérimentale pour 20 essais dans une condition de vision normale. Pour cette phase, les lumières de la chambre noire étaient éteintes et la salle de projection était éclairée par la lampe incandescente. Sous ces conditions d'éclairage, le participant était en mesure de voir la balle, l'intérieur de la salle de projection et ses propres membres à l'extérieur de la salle de projection. Le participant n'était jamais informé de sa performance lors de cette phase expérimentale. Suite au pré-

test, les participants réalisaient une phase d'acquisition qui comptait 50 essais. Pour huit participants, cette phase d'acquisition se déroulait sous les mêmes conditions que la phase de pré-test, soit de vision normale (VN). Pour les huit autres participants, seule la lampe à ultraviolets était activée. Sous cette condition d'éclairage, seule la balle projetée était visible (VB). Chacun des essais d'acquisition, peu importe le groupe expérimental, était suivi d'une connaissance du résultat (CR). Cette CR indiquait au participant où (en unités de balle) et quand (en ms) il avait atteint la surface d'interception par rapport à la balle projetée vers lui ou elle².

Suite à la première phase d'acquisition, tous les participants étaient soumis à une première tâche de transfert (transfert-vision ou TrV) qui comptait 50 essais. Ce transfert-vision était réalisé dans la condition VB, sans CR. Les participants étaient ensuite soumis à une seconde tâche de transfert (transfert-trajectoire ou TrT). Lors de cette phase expérimentale, qui comptait 20 essais et était réalisée en condition VB sans CR, le lance-balle était programmé de sorte à ce que les balles projetées vers le participant empruntent des trajectoires différentes de celles empruntées lors des autres phases expérimentales. De façon plus spécifique, pour le pré-test, les différentes phases d'acquisition, et le transfert-vision (TrV), le lance-balle était ajusté de sorte à ce que 95 % des balles atteignent la surface d'interception dans un intervalle horizontal de 32,5 cm. Lors du transfert-

² Par exemple, le participant était informé qu'il avait atteint la surface de contact 1 balle à droite (ou deux balles à gauche) du point de contact de la balle. Pour ce qui est de l'aspect temporel, le participant était informé de son erreur temporelle seulement si cette erreur était supérieure à 50 ms.

trajectoire (TrT), le lance-balle était ajusté de sorte à ce que 95 % des balles projetées occupent un intervalle horizontal de 49,1 cm. Sous cette condition, 88 % des balles étaient projetées à l'extérieur de la zone d'interception utilisée dans les autres phases expérimentales. Finalement, la première session expérimentale était complétée par 200 essais d'acquisition supplémentaires réalisés sous les mêmes conditions que la première phase d'acquisition.

Lors de la seconde session expérimentale, les participants poursuivaient leur acquisition de la tâche pour 200 essais supplémentaires. Cette phase d'acquisition était suivie des deux tâches de transfert décrites ci-haut.

Résultats

À l'aide de l'intervalle de temps compris entre le contact de la balle et le contact de l'index du participant avec la surface d'interception, nous avons calculé l'erreur constante temporelle (EC) et l'erreur variable temporelle (EV). À l'aide de la différence entre la position de la balle et celle de l'index du participant sur l'axe horizontal³, nous avons calculé l'erreur quadratique moyenne spatiale (EQM ; $EQM^2 = EC^2 + EV^2$). Nous avons choisi d'utiliser l'EQM spatiale comme principale variable dépendante parce que l'EC spatiale et l'EV spatiale étaient affectées de la même manière par les différentes manipulations expérimentales. Par ailleurs, étant donné la distribution des EQM, ces données ont été soumises à une transformation logarithmique (ln) avant le calcul des différentes analyses statistiques.

Pré-test. Les trois variables dépendantes d'intérêt ont été soumises de façon indépendante à une ANOVA contrastant les deux groupes (VN et VB) pour chacun des deux blocs de 10 essais (1-10 et 11-20). Aucune différence significative n'a été notée entre les groupes, autant au niveau spatial que temporel, ce qui indique que la répartition des participants entre les deux groupes était correcte (voir figure 1, 2 et 3 ; panneau de gauche), $p > 0.05$. Il faut cependant noter que les deux groupes ont démontré une diminution significative de l'EV temporelle entre le premier et le second bloc du pré-test, $F(1, 14) = 4.97$, $p < 0.05$ (figure 3, panneau de gauche).

Acquisition modeste. Pour la première phase d'acquisition, nous avons comparé la performance des deux groupes (VN et VB) pour chacun de cinq blocs d'essais (1-10, 11-20, ... , 41-50). Au cours de cette phase, le groupe VN a démontré une plus grande précision spatiale que le groupe VB, $F(1, 14) = 47.39$, $p < 0.05$ (voir figure 1, panneau Acq 1). Au niveau temporel, le groupe VN a aussi obtenu une plus petite EC que le groupe VB, $F(1, 14) = 5.34$, $p < 0.05$ (voir figure 2). De plus, les deux groupes de participants ont démontré une diminution significative de l'EC et de l'EV temporelle au cours de cette première phase d'acquisition, $F(4, 56) = 4.32$ et 8.55 , $ps < 0.05$, respectivement. Donc, la pratique sous la condition VN permettait une meilleure performance, aussi bien spatiale que temporelle, que la pratique sous la condition VB.

Acquisition moyenne. Nous avons comparé la performance des deux groupes expérimentaux (VN et VB) pour chacun des 40 blocs d'essais (1-10, 11-20, ... , 191-200)

³ Suite à une étude pilote, nous avons déterminé que seules les données sur cet axe étaient valides.

réalisés lors des deux dernières phases d'acquisition (Acq 2 et Acq 3). Au cours de ces phases, tel qu'illustré à la figure 1, le groupe VN était plus précis spatialement que le groupe VB, $F(1, 14) = 26.40, p < 0.05$. Un effet significatif des blocs d'essais a aussi été révélé par l'ANOVA, $F(19, 266) = 1.79, p < 0.05$ sans toutefois pouvoir être attribué à une tendance particulière de l'EQM spatiale. Enfin, l'ensemble des participants a démontré une diminution de l'EC temporelle entre le début et la fin de cette phase expérimentale, $F(39, 546) = 2.68, p < 0.05$. L'EV temporelle est demeurée semblable pour les deux groupes expérimentaux, et ce, tout au cours des phases d'acquisition 2 et 3. Une pratique prolongée a donc permis aux participants du groupe VB de porter leur performance temporelle au niveau de celle retrouvée pour le groupe VN. Cela n'était cependant pas le cas pour la composante spatiale de la tâche.

Acquisitions vs. Transferts. Les effets du passage de l'acquisition aux tâches de transfert ont été évalués en contrastant la performance des deux groupes expérimentaux (VN et VB) lors de trois phases expérimentales (Acq, TrV, et TrT), et ce, pour deux blocs d'essais (1-10, 11-20) et suite à deux quantités de pratique (50 essais et 450 essais). Pour les deux phases d'acquisition, nous avons utilisé les deux blocs d'essais précédant tout juste les tâches de transfert. Enfin, pour la tâche de transfert-vision (TrV), nous avons utilisé les deux premiers blocs d'essais réalisés par les participants puisque ces blocs sont représentatifs de la performance des participants lors de cette phase (voir figure 1).

Au niveau spatial, l'ANOVA a révélé une interaction significative entre le groupe expérimental et la phase expérimentale, $F(2, 56) = 7.21, p < 0.05$. Tel qu'illustré à la

figure 1, cette interaction indique trois effets significatifs. D'une part, tel que présenté ci-haut, le groupe VN était plus précis que le groupe VB lors de l'acquisition. Toutefois, le retrait de la vision de la main et de l'environnement ambiant lors du TrV a entraîné une diminution de précision spatiale pour le groupe VN au niveau de celle notée pour le groupe VB. Finalement, une modification de la trajectoire des balles au TrT a entraîné une diminution significative et équivalente de la précision spatiale pour les deux groupes expérimentaux.

Afin de déterminer si l'erreur spatiale plus élevée retrouvée au TrT par rapport aux autres phases expérimentales était due à l'amplitude plus grande des mouvements lors de cette phase expérimentale, nous avons calculé pour chaque participant un coefficient de corrélation entre son $|CE|$ spatiale et l'amplitude du mouvement à produire pour intercepter la balle. Tel que l'on peut l'observer à l'examen du tableau 1, il n'y a pas eu de corrélation très prononcée entre ces deux variables. Ceci indique que l'augmentation de l'EQM spatiale pour le TrT comparativement aux autres phases expérimentales ne peut pas être attribué à différents compromis vitesse-précision (Fitts, 1954 ; Schmidt, 1979 ; Meyer, Abrams, Kornblum, Wright, et Smith, 1988). Les résultats obtenus pour l'EC temporelle confirment d'ailleurs cette conclusion.

Pour l'EC temporelle, l'ANOVA a révélé un effet significatif du niveau de pratique, $F(1, 14) = 5.57, p < 0.05$, qui signifie que les participants étaient plus précis temporellement après une plus grande quantité de pratique. Aussi, l'effet des phases expérimentales, $F(2, 28) = 14.71, p < 0.05$, et celui de l'interaction entre le niveau de

pratique et la phase expérimentale, $F(2, 28) = 5.57, p < 0.05$, ont été trouvés significatifs. Afin de préciser la source des effets significatifs, l'analyse post-hoc a révélé que suite à 50 essais de pratique, l'EC temporelle était moindre en acquisition que lors du transfert TrV. L'EC temporelle était plus élevée au TrT qu'au TrV. Toutefois, suite à 450 essais de pratique, l'EC temporelle était plus élevée pour le TrT que pour l'acquisition et le TrV qui, elles, ne se démarquaient pas l'une de l'autre.

Enfin, pour l'EV temporelle, des effets du groupe expérimental et des phases expérimentales ont été trouvés significatifs [groupe : $F(1, 14) = 5.97, p < 0.05$; phases: $F(2, 28) = 12.57, p < 0.05$]. Ainsi, tel qu'on peut l'observer à la figure 3, le groupe VB était moins variable que le groupe VN. De plus, l'ensemble des participants a démontré une augmentation de l'EV temporelle lors du passage de la tâche transfert-vision à la tâche de transfert-trajectoire.

Discussion

L'objectif principal de cette étude était de déterminer si la performance obtenue pour une tâche d'interception de balles était spécifique aux sources d'afférence disponibles lors de la pratique. De plus, un second objectif était d'évaluer si ces performances étaient spécifiques aux trajectoires utilisées lors de la pratique.

Lors de l'acquisition, le groupe VN était plus précis que le groupe VB. Ainsi, il semble que la vision de la main et de l'environnement ambiant sont nécessaires pour optimiser la performance d'une tâche d'interception. Cette proposition est aussi supportée par le fait que le retrait des informations visuelles relatives à la main du participant et à

l'environnement visuel ambiant a engendré une diminution significative de la performance d'interception. Cependant, bien que les informations visuelles relatives à la main du participant et à l'environnement ambiant sont demeurées essentielles à la précision spatiale, et ce, même après une période de pratique prolongée, cette spécificité n'était pas plus marquée après 450 essais de pratique qu'après seulement 50 essais de pratique. Donc, en accord avec Proteau et ses collaborateurs, la performance lors d'une tâche d'interception est spécifique aux sources d'afférence disponibles lors de la pratique. Toutefois, cette spécificité n'augmenta pas avec la pratique. Ce deuxième aspect des résultats diffère de ceux obtenus par Proteau et ses collaborateurs (Proteau, Marteniuk, Girouard, et Dugas, 1987; Proteau et Cournoyer, 1990; Proteau, Marteniuk, et Lévesque, 1992; Proteau, 1995). En effet, bien que la performance du groupe VN lors du premier TrV ait été inférieure à celle observée lors de l'acquisition, il faut noter que celle-ci était tout de même identique à celle du groupe VB. Ce type de résultat après seulement 50 essais de pratique n'est pas étonnant en soi puisqu'une forte spécificité n'a pas eu le temps de s'établir (Proteau, 1992). Toutefois, à notre connaissance, c'est la première fois qu'un tel résultat était obtenu après une pratique importante. En effet, dans toutes les études antérieures, le retrait de l'information visuelle utilisée pour guider le mouvement entraînait une telle détérioration de la performance que le groupe VN devenait alors beaucoup moins précis que le groupe VB. Cette différence, entre les résultats de la présente étude et ceux des études antérieures, suggère que la vision de la main est la principale source d'afférence dans une tâche de pointage mais que plusieurs sources d'afférence interagissent entre elles

pour optimiser la performance lors d'une tâche d'interception. Quelles sont ces sources d'afférence?

D'une part, Rosengren, Pick et von Hofstsen (1988) ont présenté les résultats d'une étude indiquant que la vision de la main ne favorisait pas l'attrapé d'une balle lumineuse projetée dans une chambre noire. Cependant, la présence de repères spatiaux reliés à l'environnement (faibles sources lumineuses faisant face au participant) permettait, elle, d'améliorer de façon modeste mais significative la performance des participants par rapport à la condition où le participant pouvait voir sa main et la balle, et celle où seule la balle était visible. Ces résultats suggèrent que la vision de l'environnement ambiant est plus importante pour une tâche d'interception que celle de la main. Toutefois, le système de notation utilisé par ces auteurs pour quantifier la performance des participants ne permettait pas de déterminer si les différences de performance observées entre les conditions décrites ci-haut étaient dues à l'aspect temporel ou à l'aspect spatial de la tâche.

À cet égard, Whiting, Savelsbergh et Pijpers (1995) ont démontré que l'aspect temporel d'une tâche d'interception de balles n'était pas favorisé par la vision de la main mais, au contraire, que la vision de la balle et de la main engendrait un meilleur positionnement de la main (erreur spatiale moindre) que lorsque seule la balle était visible. De plus, le fait de réaliser la tâche dans un environnement visuel normal permettait une meilleure performance, autant temporelle que spatiale, que dans l'une ou l'autre des conditions décrites ci-haut. Sur la base des résultats de l'étude de Whiting et al. (1995 ; voir aussi Smyth et Marriott, 1982 ; Diggles, Grabiner, et Garhammer, 1987) il semble que

l'augmentation de l'erreur spatiale notée pour le groupe VN de la présente étude lors du passage de l'acquisition au transfert-vision ait été causée par la perte de ces deux sources d'information. Pour ce qui est de la vision de la main, cette proposition est supportée par certains résultats obtenus dans une tâche de pointage manuel qui indiquaient une forte détérioration de la précision spatiale lorsque le membre effecteur n'est plus visible dans une condition de transfert où l'environnement ambiant, lui, demeurerait inchangé (Proteau, 1995). À cet effet, les raisons pour lesquelles la vision de l'environnement ambiant favorise une bonne performance pour une tâche d'interception de balles mais ne le fait pas pour une tâche de pointage restent à élucider.

Outre la vision de la main et de l'environnement ambiant, les résultats de la présente étude suggèrent que la poursuite visuelle de la balle (déplacement des yeux et de la tête) procure aussi une source d'information importante pour guider la main d'un individu vers le point d'interception. Les bonnes performances notées pour le groupe VB en acquisition et dans les conditions équivalentes des études de Rosengren et al. (1988) et de Whiting et al. (1995) supportent cette proposition. Si tel est effectivement le cas, la meilleure performance du groupe VN en acquisition par rapport à celle du groupe VB pourrait être due au fait que la vision de la main permettrait aux participants de faire une correction finale de leur mouvement, ce qui n'est pas possible dans la condition VB (Soechting et Flanders, 1989a,b)⁴. Cette interprétation, si elle est juste, suggère qu'un

⁴ Il faut noter que cette proposition diffère de façon marquée d'une approche basée uniquement sur l'utilisation d'informations visuelles de nature optique (τ ; voir Bootsma et Peper, 1992 pour une revue).

stimulus en déplacement procure plus d'information pour le contrôle du mouvement que l'utilisation d'une cible fixe. De plus, cette interprétation permet de réconcilier les résultats des travaux antérieurs de Proteau et de ses collaborateurs et de Whiting et al. (1995). En effet, Whiting et ses collaborateurs ont noté un excellent transfert de l'apprentissage d'une condition d'afférence à une autre lors de la pratique d'une tâche d'interception. On peut supposer que cela était partiellement dû à la priorité accordée aux informations disponibles ou engendrées par la poursuite visuelle et qui, elles, n'étaient jamais modifiées de l'acquisition au transfert. Par ailleurs, il faut noter que seule l'utilisation d'une tâche ayant de très fortes exigences spatiales nous a permis d'obtenir des résultats différents de ceux de Whiting et de ses collaborateurs. En effet, si les participants de la présente étude avaient eu l'opportunité d'utiliser toute la surface de leur main pour intercepter la balle, aucune différence n'aurait été notée entre les conditions VN et VB.

Finalement, l'importance des trajectoires de balles dans ce type de tâche est aussi mise en évidence par la performance des participants lors de la tâche de transfert-trajectoire. En effet, tous les participants ont présenté des performances semblables, et ce, peu importe : la quantité de pratique réalisée en acquisition, la condition de vision en

En effet, comme le suggèrent de récents résultats présentés par Peper, Bootsma, Mestre et Bakker (1994), le déplacement de la main est assujéti à l'information optique découlant du déplacement du stimulus. Ainsi, le passage de l'acquisition au transfert n'aurait pas dû modifier la performance du groupe VN puisque cette information était disponible dans l'une et l'autre de ces phases expérimentales.

acquisition ou l'endroit où la balle faisait contact avec l'écran d'interception⁵. Ainsi, les nouvelles trajectoires de balles étaient tout aussi difficiles à traiter pour les participants, et ce, peu importe les autres manipulations expérimentales. De plus, cette diminution de performance spatiale est plus importante que celle retrouvée lors du retrait des informations visuelles de la main et de l'environnement ambiant (TrV) pour les participants du groupe VB. Ces résultats suggèrent qu'une des interprétations possibles des résultats de Whiting et al. (1995) lors de leur test de transfert est que les participants ont appris, pendant la phase d'acquisition, à placer leur main dans une région où les balles passaient plus fréquemment, et ce, plutôt que de proposer que l'usage des informations visuelles de l'environnement ambiant et de la main diminuent avec la pratique.

En conclusion, bien que la vision de la main et de l'environnement ambiant sont des sources importantes d'afférence pour le contrôle du mouvement lors de l'interception de balles, il semble que d'autres sources d'information reliées au déplacement de la balle soient aussi utiles pour ce type de mouvement. Tel que proposé dans de nombreuses études de pointage manuel, l'apprentissage d'une tâche d'interception de balles semble être spécifique aux sources d'afférence utilisées lors de la pratique.

⁵ En effet, les résultats des essais où les balles ont fait contact à gauche du participant sont semblables aux résultats des essais où les balles ont fait contact à droite du participant, et ce, peu importe le niveau de pratique et les conditions d'acquisition.

Références

- Annett, J. (1988). Discussion : Programming and coordination. Dans A. M. Colley, J. R. Beech et al. (Eds.), Cognition and action in skilled behavior, (pp. 145-153). Amsterdam : North Holland.
- Bennett, S.J., & Davids, K. (1995). The manipulation of vision during the powerlift squat: Exploring the boundaries of the specificity of learning hypothesis. Research Quarterly for Exercise and Sport, 66, 210-218.
- Bootsma, R.J., & Peper, L. (1992). Predictive visual information sources for the regulation of action with special emphasis on catching and hitting. Dans L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control, (pp. 285-314). Amsterdam : North Holland.
- Desmurget, M., Rossetti, Y., Jordan, M., Meckler, C., & Prablanc, C. (1997). Viewing the hand prior to movement improves accuracy of pointing performed toward the unseen contralateral hand. Experimental Brain Research, 115, 180-186.
- Desmurget, M., Rossetti, Y., Prablanc, C., Stelmach, G.E., & Jeannerod, M. (1995). Representation of hand position prior to movement and motor variability. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 73, 262-272.
- Diggles, V.A., Grabiner, M.D., & Garhammer, J. (1988). Skill level and efficacy of effector visual feedback in ball catching. Perceptual and Motor Skills, 64, 987-993.
- Elliott, D., & Jaeger, M. (1988). Practice and the visual control of manual aiming movement. Journal of Human Movement Studies, 14, 279-291.

Fitts, P.M. (1954). The information capacity of human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of Experimental Psychology, *47*, 381-391.

Fleishman, E.A., & Rich, S. (1963). Role of kinesthetic and spatial-visual abilities in perceptual motor learning. Journal of Experimental Psychology, *66*, 6-11.

Meyer, D.E., Abrams, R.A., Kornblum, S., Wright, C.E., & Smith, J.E.K. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. Psychological Review, *95*, 340-370.

Peper, L., Bootsma, R.J., Mestre, D.R., & Bakker, F.C. (1994). Catching balls: How to get the hand to the right place at the right time. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, *20*, 591-612.

Pew, R.W. (1966) Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill. Journal of Experimental Psychology, *71*, 764-771.

Prablanc, C., Echallier, J.E., Jeannerod, M., & Komilis, E. (1979). Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target: II. Static and dynamic visual cues in the control of hand movement. Biological Cybernetics, *35*, 183-187.

Proteau, L. (1992). On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. Dans L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control, (pp. 67-103). Amsterdam : North Holland.

Proteau, L. (1995). Sensory integration in the learning of an aiming task.

Canadian Journal of Experimental Psychology, 49, 113-120.

Proteau, L., & Courmoyer, J. (1990). Vision of the stylus in a manual aiming task: The effects of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 42B, 811-828.

Proteau, L., & Marteniuk, R.G. (1993). Static visual information and the learning and control of a manual aiming task. Human Movement Science, 12, 515-536.

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, 181-199.

Proteau, L., Marteniuk, R.G., & Lévesque, L. (1992). A sensorimotor basis for motor learning: Evidence indicating specificity of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 44A, 557-575.

Proteau, L., Tremblay, L., & DeJeager, D. (1998). Practice does not diminish the role of visual information for on-line control of a precision walking task : Support for the specificity of practice hypothesis. Journal of Motor Behavior, 30, 143-150.

Robertson, S., Collins, J., Elliott, D., & Starkes, J. (1994). The influence of skill and intermittent vision on dynamic balance. Journal of Motor Behavior, 26, 333-339.

Robertson, S., & Elliott, D. (1996). The influence of skill in gymnastics and vision on dynamic balance. International Journal of Sport Psychology, 27, 361-368.

Rosengren, K.S., Pick, H.L., & von Hofstsen, C. (1988). Role of visual information in ball catching. Journal of Motor Behavior, 20, 150-164.

Rossetti, Y., Desmurget, M., & Prablanc, C. (1995). Vectorial coding of movement: Vision, proprioception, or both. Journal of Neurophysiology, *74*, 457-463.

Rossetti, Y., Desmurget, M., Stelmach, G.E., Prablanc, C., & Jeannerod, M. (1994). The effect of viewing the static hand prior to movement onset on pointing accuracy. Experimental Brain Research, *101*, 323-330.

Savelsbergh, G.J.P., & Whiting, H.T.A. (1988). The effect of skill level, external frame of reference and environmental changes on one-handed catching. Ergonomics, *31*, 1655-1663.

Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, *82*, 225-260.

Schmidt, R.A. (1979). Motor output variability : A theory for the accuracy of rapid motor acts. Psychological Review, *86*, 415-451.

Schmidt, R.A. (1988). Motor control and learning: A behavioral emphasis: 2nd edition. Human Kinetics: Champaign, IL.

Smyth, M.M., & Marriott, A.M. (1982). Vision and proprioception in simple catching. Journal of Motor Behavior, *14*, 143-152.

Soechting, J.F., & Flanders, M. (1989a). Sensorimotor representations for pointing to targets in three-dimensional space. Journal of Neurophysiology, *62*, 582-594.

Soechting, J.F., & Flanders, M. (1989b). Errors in pointing are due to approximations in sensorimotor transformations. Journal of Neurophysiology, *62*, 595-608.

Tremblay, L., & Proteau, L. (sous presse). Specificity of practice : The case of powerlifting. Research Quarterly for Exercise and Sports.

Whiting, H.T.A., Savelsbergh, G.J.P., & Pijpers, J.R. (1995). Specificity of learning does not deny flexibility. Applied Psychology: An International Review, 44, 315-322.

Tableau 1

Corrélation entre l'amplitude du mouvement à produire et l'erreur spatiale absolue produite (par participants et par groupe) lors du TrT

Sujet/Groupe	Quantité de pratique	
	Après 50 essais de pratique	Après 400 autres essais de pratique
Groupe VN	0,56	0,16
	-0,36	0,05
	0,60	-0,35
	-0,58	-0,45
	-0,36	-0,24
	0,41	0,02
	0,54	0,67
	0,13	0,24
	Moyenne (É-T)	0,12 (0,48)
Groupe VB	-0,12	-0,35
	0,32	0,40
	-0,20	-0,30
	0,39	-0,19
	-0,24	-0,44
	0,32	0,42
	0,01	-0,02
	-0,08	-0,12
	Moyenne (É-T)	0,01 (0,36)

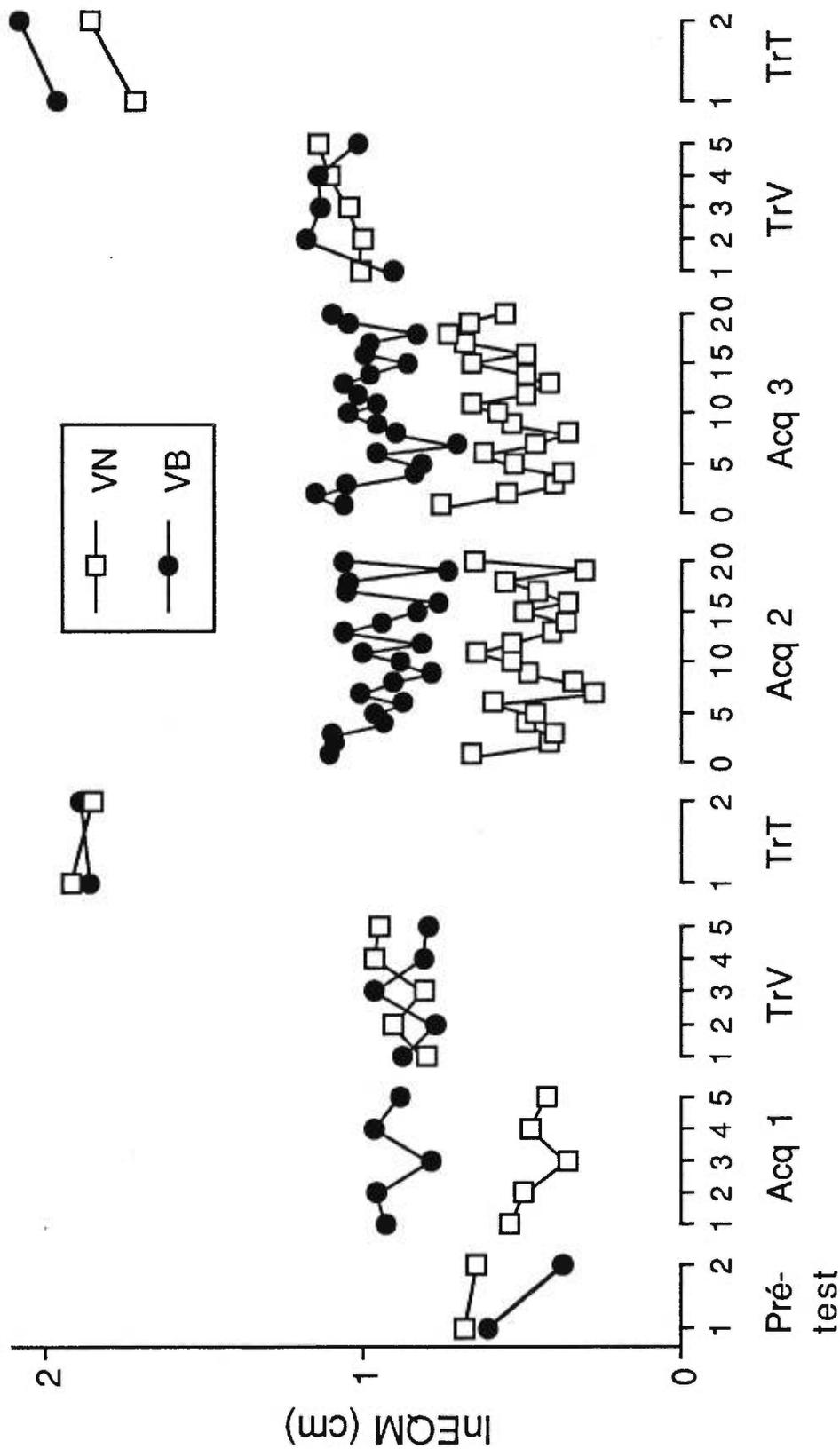
Liste des figures

Figure 1. Erreur quadratique moyenne spatiale (en cm) lors de l'interception de balles en fonction des conditions d'acquisition, des phases expérimentales et des blocs d'essais.

Figure 2. Erreur constante temporelle (en millisecondes) lors de l'interception de balles en fonction des conditions d'acquisition, des phases expérimentales et des blocs d'essais.

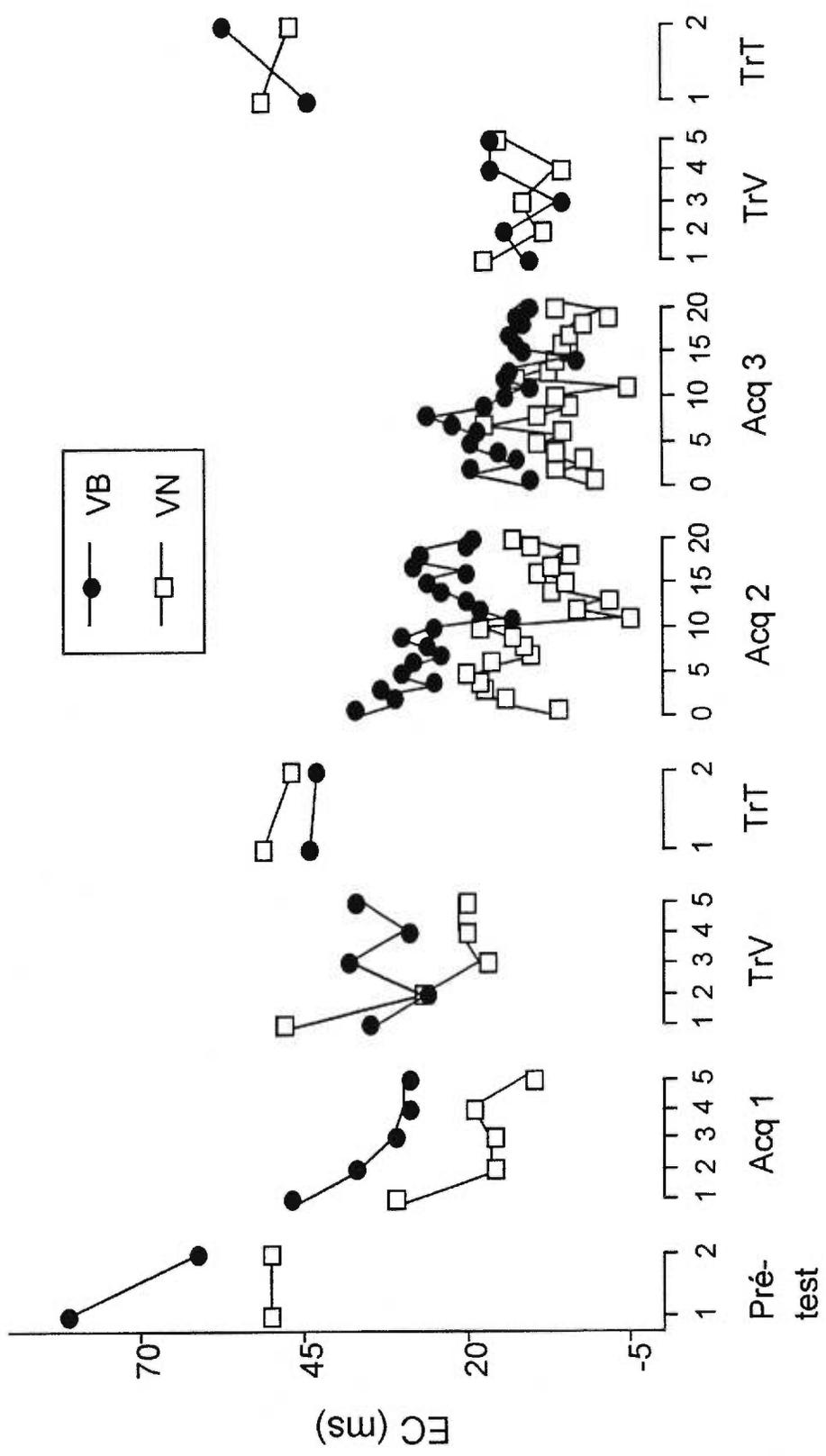
Figure 3. Erreur variable temporelle (en millisecondes) lors de l'interception de balles en fonction des conditions d'acquisition, des phases expérimentales et des blocs d'essais.

Précision spatiale



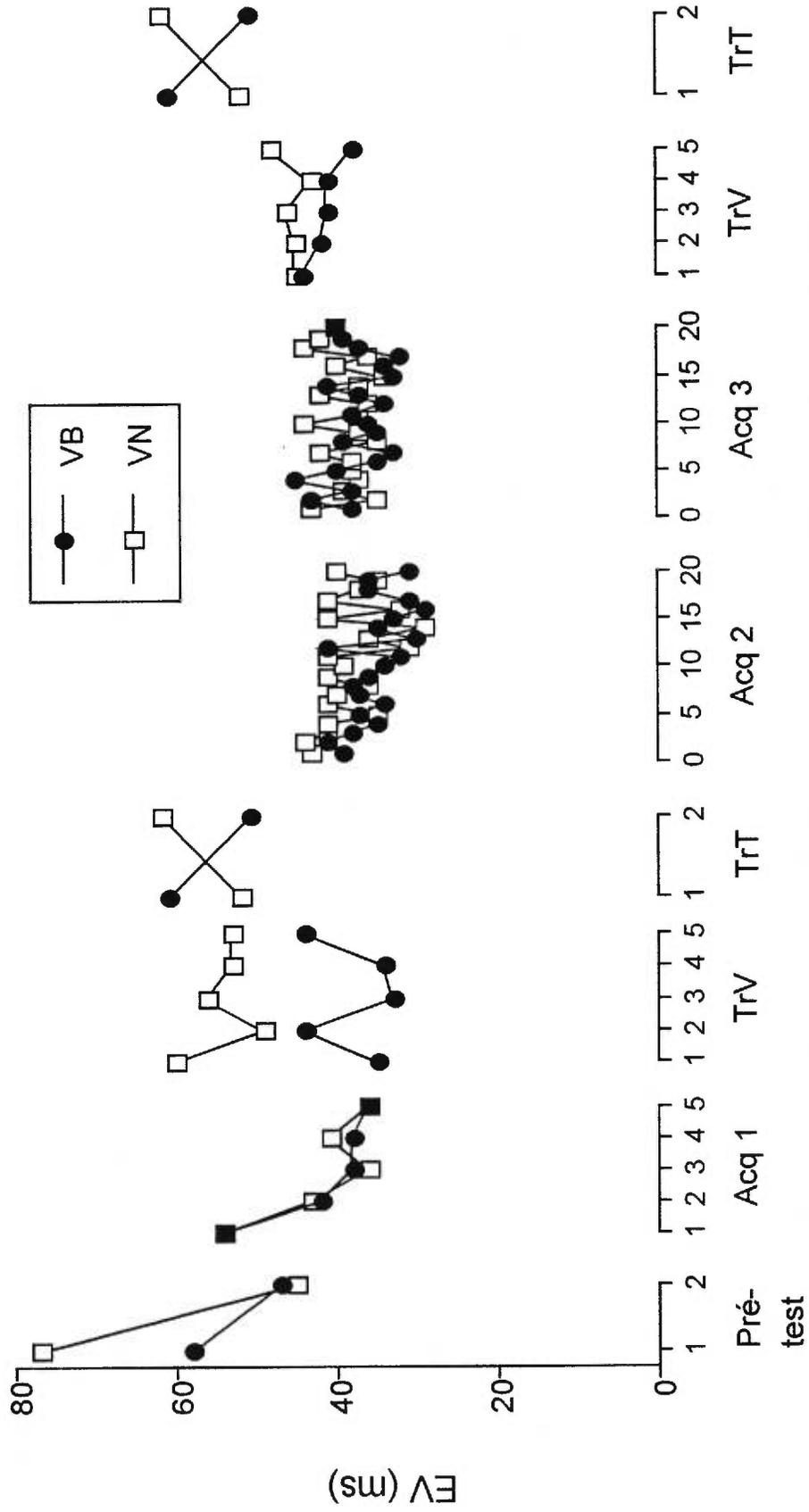
Phases expérimentales (par bloc de 10 essais)

Erreur contante temporelle



Phases expérimentales (10 essais par bloc)

Erreur variable temporelle



Phases expérimentales (10 essais par bloc)

Conclusions générales

Le premier but du présent mémoire était de déterminer la pertinence de l'hypothèse de la spécificité de la pratique (HSP: Proteau, 1992) pour trois tâches sportives, soit la marche de précision, le 'powerlift squat' et l'interception de balles. Nous avons évalué l'utilisation des informations afférentes pour ces tâches en retirant ou en modifiant une source importante d'information lors de tests de transfert. De façon globale, nos expérimentations portaient sur la spécificité des informations visuelles pour le contrôle du mouvement. Deuxièmement, nous avons mesuré si la spécificité de l'apprentissage est fonction de la quantité de pratique effectuée avant le retrait ou la modification d'une source d'information.

Pris globalement, les résultats des études du présent mémoire ont permis de confirmer l'applicabilité de l'HSP dans les limites que nous nous sommes fixées. En effet, nous avons contrôlé la phase d'acquisition des participants afin de nous assurer de la qualité de la pratique préalable au transfert (e.g. conditions d'acquisition). Ce contrôle n'avait pas été effectué au cours des études pour lesquelles on a observé des résultats présumés contraires à l'HSP. L'absence de ce contrôle pourrait expliquer la divergence des résultats entre les études confirmant l'HSP et celles infirmant l'HSP. D'autre part, nous avons retiré la CR lors des tests de transfert puisque cette source d'information permet d'apprendre la tâche et ainsi de modifier le niveau de performance. Les études infirmant l'HSP ne contrôlaient pas la CR lors des tests de transfert et cette différence avec les études du présent mémoire est fort probablement due à cette lacune méthodologique.

Enfin, nous avons contrôlé les niveaux de pratique en utilisant un rapport plus important entre les quantités de pratique.

À tout le moins, les études de ce mémoire nous permettent de faire le point sur les modèles théoriques présentés dans l'introduction générale. Tout d'abord, le modèle de Schmidt (1975) propose qu'avec la pratique, l'individu normal passe d'un mode de contrôle du mouvement en boucle fermée vers un mode de contrôle du mouvement en boucle ouverte. Le mode de contrôle en boucle fermée propose un usage important des afférences sensorielles pour l'exécution d'un mouvement alors que ce n'est pas le cas pour un mode de contrôle en boucle ouverte. Toutefois, aucun des résultats obtenus dans ce mémoire suggère une modification semblable de l'utilisation des afférences en fonction de la pratique. En effet, les seules options qui nous apparaissent plausibles sont le maintien ou une augmentation de l'utilisation d'une source d'afférence en fonction de la pratique mais certainement pas une diminution. Pour ce qui est du modèle d'Abbs, Gracco et Cole (1984), nous sommes en mesure de proposer que ce modèle présente une erreur importante. En effet, ce modèle propose qu'un individu utilise et intègre toutes les afférences disponibles lors de la pratique. Toutefois, au cours du présent mémoire, nous avons pu observer que certaines sources d'afférence pouvaient être intégrées ou non selon la dominance des informations afférentes. Par exemple, la vision ambiante s'est avérée une importante source d'afférence pour la marche mais ce n'était pas le cas pour le 'powerlift squat'. Donc, les modèles expliquant l'utilisation des afférences en fonction de la pratique sont à revoir si l'on tient compte des résultats du présent mémoire.

Les résultats obtenus dans les études du présent mémoire nous ont aussi permis de tirer plusieurs conclusions. Certaines tirées de façon indépendante selon les différentes tâches utilisées et d'autres de façon globale sur l'ensemble des études. De façon indépendante, trois observations principales sont à revoir. D'abord, pour la marche de précision, il semble que les afférences tactiles provenant du contact des pieds sur la poutre pourraient être utilisées par les gymnastes de l'étude de Robertson et al. (1994) puisque ces dernières n'ont pas beaucoup souffert du retrait de la vision mais que l'absence de cette source d'informations attribuable à la réalisation de la tâche sur un plancher lisse nous a permis de confirmer l'HSP. Ensuite, pour le 'powerlift squat', nous avons présenté des résultats qui permettent de proposer que les informations visuelles ambiantes ne sont pas utiles au contrôle de ce type de mouvement mais qu'une source d'information visuelle (e.g. faisceau laser) peut devenir importante pour contrôler le geste avec précision. Enfin, avec l'interception de balles, il semble que la vision de la main et de l'environnement ambiant sont des sources importantes d'information pour contrôler ce geste mais que les informations qui résultent du déplacement de la balle (e.g. afférences des muscles des yeux et/ou du cou) sont encore plus critiques pour contrôler ce mouvement.

Les résultats décrits ci-haut nous permettent de proposer un mode de comportement lors de l'utilisation des afférences pour le contrôle du mouvement. En effet, la vision ambiante s'est révélée critique pour la marche de précision mais sans grande importance pour le 'powerlift squat'. Ainsi, l'HSP semble pouvoir être confirmée pour toute tâche motrice de précision si la source d'afférence retirée au transfert est dominante

pour le contrôle du mouvement. Ce concept de dominance sensorielle est impératif à l'analyse de l'utilisation des sources d'afférence pour le contrôle d'un geste moteur. En effet, bien que plusieurs études tentent de faire le point sur l'utilisation des afférences pour le contrôle moteur, il semble que la dominance des afférences doit être considérée avant de porter des conclusions généralisées à toutes les sources d'afférence. Donc, toute conclusion sur l'utilisation des afférences ne peut être faite qu'à partir des afférences manipulées et toute infirmation de l'HSP doit être faite à partir d'une manipulation de toutes les sources d'afférence.

L'HSP présente aussi un corollaire stipulant que le retrait d'une source importante d'information devrait être plus dommageable après une plus grande quantité de pratique avant son retrait. Ce corollaire n'est pas toujours supporté lors d'études sur l'HSP. Tel était le cas pour l'étude sur la marche du présent mémoire même s'il semblait plus probable de retrouver un tel effet pour l'interception de balles où l'écart entre les niveaux de pratique était plus important (20 et 100 essais vs. 50 et 450 essais). Ainsi, puisque ce corollaire a été supporté plusieurs fois pour des tâches de pointage manuel (Proteau, Marteniuk, Girouard, et Dugas, 1987; Proteau et Cournoyer, 1990), il faut tenter de trouver le facteur qui influence la présence de cet effet.

Il est possible de proposer deux facteurs pouvant être à l'origine de ces résultats conflictuels. En effet, le corollaire d'augmentation de la spécificité de l'apprentissage en fonction de la pratique peut être supporté ou non avec des niveaux de pratique semblables. Tout d'abord, les caractéristiques spécifiques des tâches sont probablement à l'origine de

la confirmation ou de l'infirmité du corollaire de l'HSP. En effet, si la tâche ne permet pas aux participants d'utiliser de façon optimale la source d'afférence retirée au transfert¹, il est fort possible que l'effet d'augmentation de la spécificité en fonction de la quantité de pratique ne prenne pas place. Par exemple, les informations kinesthésiques non-manipulées entre l'acquisition et le transfert pour le 'powerlift squat' sont sûrement utiles pour guider ce type de mouvement. Ainsi, cette source d'information utile au geste peut réduire l'effet de l'HSP et de son corollaire puisqu'elle est disponible et utilisable lors du transfert. Dans l'étude sur l'interception de balle, il a été proposé que les informations provenant des muscles mis en jeu lors de la poursuite visuelle peuvent être utilisées pour guider la main vers la cible visée. Ainsi, la présence de ces informations lors des transferts aurait permis aux participants de conserver une partie de leur apprentissage pour ainsi estomper l'effet de l'HSP. Par contre, la vision semble être la source d'afférence dominante pour la marche de précision et le corollaire de l'HSP a été supporté lors de cette étude. Donc, la manipulation de la source d'afférence dominante semble être la clé de la confirmation complète de l'HSP.

Une autre interprétation expliquant le manque de support du corollaire de l'HSP est aussi reliée au type de tâche utilisée. Il est probable que les participants aient été en mesure d'utiliser les afférences manipulées de façon optimale avant leur retrait lors du premier test de transfert. Ainsi, tel que nous l'avons observé lors des études sur le

¹ Tel est aussi le cas si la source d'afférence manipulée n'est pas la seule qui mène à des performances optimales.

'powerlift squat' et l'interception de balles, le retrait des afférences visuelles a mené à une importante diminution de la précision spatiale après chacun des tests de transfert. Cette dernière observation pourrait être attribuable à un effet de plafonnement dans l'utilisation des afférences manipulées.

En définitive, les résultats de l'ensemble des études s'accordent sur trois points. D'abord, il semble que d'une tâche à l'autre, il existe une source d'afférence dominante pour le contrôle du mouvement utilisé. De plus, le retrait d'une source d'information afférente ne mène jamais à une amélioration des performances mais souvent à une détérioration importante des performances spatiales. Enfin, la diminution de la précision spatiale peut-être plus marquée après une plus grande quantité de pratique. Donc, d'un point de vue pratique, ces observations suggèrent qu'il faut d'abord identifier la source d'information afférente dominante pour une tâche donnée² et enseigner l'usage de cette source d'information. Toutefois, l'usage de cette source d'afférence doit être faite seulement si elle est disponibles lors des situations critiques ou de compétitions. Ainsi, l'usage d'un guide artificiel non présent ou permis en compétition est à considérer avec circonspection.

² Il est recommandé d'identifier cette source d'afférence chez les experts.

Références

Abahnini, K., & Proteau, L. (1998). The effect of peripheral visual information and visual knowledge of results on the directional control of aiming movement. Soumis pour publication.

Abbs, J.H., Gracco, V.L., & Cole, K.J. (1984). Control of multimovement coordination: Sensorimotor mechanism in programming. Journal of Motor Behavior, 16, 195-231.

Abrams, R.A., & Pratt, J. (1993). Rapid aimed limb movements: Differential effects of practice on component submovements. Journal of Motor Behavior, 25, 288-298.

Adams, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. Journal of Motor Behavior, 3, 111-150.

Adams, J.A., Goetz, E.T., & Marshall, P.H. (1972). Response feedback and motor learning. Journal of Experimental Psychology, 92, 391-397.

Adams, J.A., Gopher, D., & Lintern, G. (1977). Effects of visual and proprioceptive feedback on motor learning. Journal of Motor Behavior, 9, 11-22.

Annett, J. (1988). Discussion : Programming and coordination. Dans A. M. Colley, J. R. Beech et al. (Eds.), Cognition and action in skilled behavior, (pp. 145-153). Amsterdam : North Holland.

Beaubaton, D., & Hay, L. (1986). Contribution of visual information to feedforward and feedback processes in rapid pointing movements. Human Movement Sciences, 5, 19-34.

Bennett, S.J., & Davids, K. (1995). The manipulation of vision during the powerlift squat: Exploring the boundaries of the specificity of learning hypothesis. Research Quarterly for Exercise and Sport, 66, 210-218.

Bootsma, R.J., & Peper, L. (1992). Predictive visual information sources for the regulation of action with special emphasis on catching and hitting. Dans L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control, (pp. 285-314). Amsterdam : North Holland.

Bullock, D., & Grossberg, S. (1988). Neural dynamics of planned arm movements: Emergent invariants and speed-accuracy properties during arm trajectory formation. Psychological Review, 95, 49-90.

Bullock, D., & Grossberg, S. (1991). Adaptive neural networks for control of movement trajectories invariant under speed and force rescaling. Human Movement Science, 10, 3-53.

Carlton, L.G. (1981). Visual information: The control of aiming movements. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 33A, 87-93.

Carlton, L.G. (1992). Visual processing time and the control of movement. Dans L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control, (pp. 3-31). Amsterdam : North Holland.

- Cox, R.H., & Walkuski, J.J. (1988). Kinesthetic sensitivity and stages of motor learning. Journal of Human Movement Studies, 14, 1-10.
- Desmurget, M., Rossetti, Y., Jordan, M., Meckler, C., & Prablanc, C. (1997). Viewing the hand prior to movement improves accuracy of pointing performed toward the unseen contralateral hand. Experimental Brain Research, 115, 180-186.
- Desmurget, M., Rossetti, Y., Prablanc, C., Stelmach, G.E., & Jeannerod, M. (1995). Representation of hand position prior to movement and motor variability. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 73, 262-272.
- Diggles, V.A., Grabiner, M.D., & Garhammer, J. (1988). Skill level and efficacy of effector visual feedback in ball catching. Perceptual and Motor Skills, 64, 987-993.
- Elliott, D. (1988). The influence of visual target and limb information on manual aiming. Canadian Journal of Experimental Psychology, 41, 57-68.
- Elliott, D., & Jaeger, M. (1988). Practice and the visual control of manual aiming movement. Journal of Human Movement Studies, 14, 279-291.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of Experimental Psychology, 47, 381-391.
- Fleishman, E.A., & Rich, S. (1963). Role of kinesthetic and spatial-visual abilities in perceptual-motor learning. Journal of Experimental Psychology, 66, 6-11.
- Keele, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. Psychological Bulletin, 70, 387-403.

Lashley, K.S. (1917). The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ. The American Journal of Physiology, *43*, 169-194.

Latash, M.L. (1993). Control of human movement. Human Kinetics Publishers : Chicago.

Meyer, D.E., Abrams, R.A., Kornblum, S., Wright, C.E., & Smith, J.E.K. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. Psychological Review, *95*, 340-370.

McCloskey, D.I., & Prochazka, A. (1994). The role of sensory information in the guidance of voluntary movement: reflections on a symposium held at the 22nd annual meeting of the Society for Neuroscience. Somatosensory and Motor Research, *11*, 69-76.

Patla, A.E., Adkin, A., Martin, C., Holden, R., & Prentice, S. (1996). Characteristics of voluntary visual sampling of the environment for safe locomotion over different terrains. Experimental Brain Research, *112*, 513-422.

Peper, L., Bootsma, R.J., Mestre, D.R., & Bakker, F.C. (1994). Catching balls: How to get the hand to the right place at the right time. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, *20*, 591-612.

Pew, R.W. (1966). Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill. Journal of Experimental Psychology, *71*, 764-771.

Polit, A., & Bizzi, E. (1978). Processes controlling arm movements in monkeys. Science, *201*, 1235-1237.

Prablanc, C., Echallier, J.E., Jeannerod, M., & Komilis, E. (1979). Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target: II. Static and dynamic visual cues in the control of hand movement. Biological Cybernetics, *35*, 183-187.

Proteau, L. (1992). On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. Dans L. Proteau & D. Elliott (Eds.), Vision and Motor Control, (pp. 67-103). Amsterdam : North Holland.

Proteau, L. (1995). Sensory integration in the learning of an aiming task. Canadian Journal of Experimental Psychology, *49*, 113-120.

Proteau, L. & Cournoyer, J. (1990). Vision of the stylus in a manual aiming task: the effects of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, *42B (4)*, 811-828.

Proteau, L., & Marteniuk, R.G. (1993). Static visual information and the learning and control of a manual aiming task. Human Movement Science, *12*, 515-536.

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*, 181-199.

Proteau, L., Marteniuk, R.G., & Lévesque, L. (1992). A sensorimotor basis for motor learning: evidence indicating specificity of practice. Quarterly Journal of Experimental Psychology, *44A (3)*, 557-575.

Robertson, S., Collins, J., Elliott, D., & Starkes, J. (1994). The influence of skill and intermittent vision on dynamic balance. Journal of Motor Behavior, *26(4)*, 333-339.

Robertson, S., & Elliott, D. (1996). The influence of skill in gymnastics and vision on dynamic balance. International Journal of Sport Psychology, *27*, 361-368.

Rosengren, K.S., Pick, H.L., & von Hofsteden, C. (1988). Role of visual information in ball catching. Journal of Motor Behavior, *20*, 150-164.

Rossetti, Y., Desmurget, M., & Prablanc, C. (1995). Vectorial coding of movement: Vision, proprioception, or both. Journal of Neurophysiology, *74*, 457-463.

Rossetti, Y., Desmurget, M., Stelmach, G.E., Prablanc, C., & Jeannerod, M. (1994). The effect of viewing the static hand prior to movement onset on pointing accuracy. Experimental Brain Research, *101*, 323-330.

Salmoni, A.W., Schmidt, R.A., & Walter, C.B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical re-appraisal. Psychological Bulletin, *95*, 355-386.

Savelsbergh, G.J.P., & Whiting, H.T.A. (1988). The effect of skill level, external frame of reference and environmental changes on one-handed catching. Ergonomics, *31*, 1655-1663.

Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, *82*, 225-260.

Schmidt, R.A. (1979). Motor output variability : A theory for the accuracy of rapid motor acts. Psychological Review, *86*, 415-451.

Schmidt, R.A. (1988). Motor control and learning: A behavioral emphasis: 2nd edition. Human Kinetics: Champaign, IL.

Schmidt, R.A., & McCabe, J.F. (1976). Motor program utilization over extended practice. Journal of Human Movement Studies, 2, 239-247.

Smyth, M.M., & Marriott, A.M. (1982). Vision and proprioception in simple catching. Journal of Motor Behavior, 14, 143-152.

Soechting, J.F., & Flanders, M. (1989a). Sensorimotor representations for pointing to targets in three-dimensional space. Journal of Neurophysiology, 62, 582-594.

Soechting, J.F., & Flanders, M. (1989b). Errors in pointing are due to approximations in sensorimotor transformations. Journal of Neurophysiology, 62, 595-608.

van der Meulen, J.H.P., Gooskens, R.H.J.M., Denier van der Gon, J.J., Gielen, C.C.A.M., & Wilhem, K. (1990). Mechanism underlying accuracy in fast goal-directed arm movements in man. Journal of Motor Behavior, 22, 67-84.

Vindras, P., & Viviani, P. (1998). Frames of reference and control parameters in visuomanual pointing. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 24, 569-591

Whiting, H.T.A., Savelsbergh, G.J.P., & Pijpers, J.R. (1995). Specificity of learning does not deny flexibility. Applied Psychology: An International Review, 44, 315-322.

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais exprimer tout ma gratitude envers mon directeur de recherche, le Dr. Luc Proteau, pour tout ce qu'il m'a appris aux cours des six dernières années. À partir des cours de premier cycle jusqu'aux rencontres durant ma maîtrise, un seul et unique but semblait motiver ses interventions: la poursuite de l'excellence. Je suis encore sur le chemin de l'apprentissage mais je crois sincèrement avoir bénéficié d'un excellent guide. Encore une fois, MERCI!

Je voudrais aussi remercier toute l'équipe technique du département, Messieurs Gérard Ouellet, Paul Martin, Marcel Beaulieu, Daniel Durocher, et Simon Doucet, pour leur soutien indispensable lors des expérimentations au laboratoire. Aussi, je ne veux pas passer sous silence l'excellent travail de Christian Warren pour son aide précieuse et rapide lors de l'élaboration de certains logiciels spécialement conçus pour nos expériences.

D'autre part, je veux remercier parents et ami(e)s pour leur support et leurs encouragements dans la poursuite de mes études. Merci aussi à ceux qui m'ont aidé pour améliorer la qualité linguistique de ce mémoire.

Enfin, je veux remercier particulièrement mes parents, Fernande et Yves, pour leur support inconditionnel tout au cours de mes études. Je crois sincèrement qu'ils ont tout fait ce qui était en leurs moyens pour me soutenir et j'en suis grandement reconnaissant.