

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE ES SCIENCES DE

L'ACTIVITE PHYSIQUE

PAR

YVON GAGNON

LES RELATIONS ENTRE L'INDICE DE DIFFICULTE  
D'UN MOUVEMENT ET L'ATTENTION REQUISE POUR  
CONTROLLER L'EXECUTION DE CE MOUVEMENT

DECEMBRE 1982

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

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

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

à mon épouse Colette

## RESUME

Le but de cette étude est de cerner les relations entre l'indice de difficulté et l'indice de l'attention d'un mouvement. En exécutant des mouvements (tâches primaires) choisis en fonction de l'indice de difficulté de Fitts (1954) et en mesurant l'attention à l'aide d'une tâche de temps de réaction (tâche secondaire), il devient possible de comparer de tels indices. Les neuf mouvements choisis consistent en des tâches de frappe alternative de deux cibles à un rythme imposé de 740 ms/frappe. L'allumage alternatif de deux lumières indique le rythme à suivre et le moment précis de la frappe des cibles. Si la dérogation à ce rythme dépasse  $\pm 100$  ms, une erreur de frappe est comptée. Le taux d'erreurs de frappe ne doit pas dépasser 10% pour qu'un essai soit réussi. Un essai comprend 54 frappes et dure 40 secondes. La tâche secondaire de temps de réaction consiste à répondre "oui" à un signal sonore de 2000 hertz d'une durée de 50 ms. Les signaux sonores peuvent survenir aux trois positions suivantes: 50, 370 et 690 ms après le clignotement d'une lumière. Six signaux sonores sont envoyés durant un essai, trois pour le mouvement en abduction et trois pour le mouvement en adduction. Enfin, chaque tâche primaire est exécutée séparément ou en simultanéité avec la tâche secondaire.

Dans la tâche primaire, la performance est évaluée en fonction des erreurs de frappe, de l'erreur algébrique temporelle et de l'er-

reur quadratique temporelle moyenne. L'analyse de la variance de ces trois variables de la performance comprend un plan à cinq facteurs. Ces facteurs sont les 3 indices de difficulté identifiés à 2, 4 et 6 bits, les 3 tâches équivalentes combinant divers paramètres d'amplitude et de largeur pour un même indice de difficulté, les 2 orientations déterminées par l'abduction et l'adduction du mouvement, les 2 conditions expérimentale et témoin et enfin, les 16 sujets recrutés parmi des adeptes du sport intercollégial. Les tâches équivalentes, pour chaque niveau d'indice de difficulté, sont significativement différentes pour les trois variables étudiées. Ce résultat indique que l'indice de Fitts (ratio amplitude/largeur de cible) ne rend pas compte de la difficulté des tâches de frappe dans la présente étude. La largeur de la cible expliquerait davantage les différences de performance entre les tâches. Le facteur condition significatif pour l'erreur quadratique temporelle moyenne révèle une détérioration de la tâche de frappe exécutée en simultanéité avec la tâche de temps de réaction.

L'analyse de la performance dans la tâche secondaire de temps de réaction implique le facteur position du signal sonore en plus des mêmes facteurs identifiés dans l'analyse de la tâche primaire. Le facteur condition significatif montre que l'exécution d'un mouvement de frappe alternative exige de l'attention. Le début et la fin du mouvement exigent un peu plus d'attention que le milieu du mouvement. Le facteur difficulté n'est pas significatif et un test de Scheffé pour le facteur équivalence de tâche affiche aussi un résultat non-significatif.

L'indice de difficulté de Fitts ne se reflète donc pas dans l'indice de l'attention.

En d'autres mots, un mouvement difficile ne requiert pas plus d'attention qu'un mouvement facile. Cette étude-ci ne corrobore pas les résultats de Kantowitz et Knight (1978b) affirmant que l'indice de Fitts est un meilleur indicateur de l'attention que du temps de mouvement. La tâche secondaire de temps de réaction simple ne semble donc pas être un moyen adéquat pour évaluer la difficulté d'un mouvement.

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire est une balise principale du cheminement scientifique de l'auteur. Un tel cheminement s'est concrétisé à l'intérieur du département des sciences de l'activité physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières avec la contribution de plusieurs personnes.

Parmi celles-ci, il faut d'abord souligner particulièrement l'assistance soutenue du docteur Yves Girouard, directeur de mémoire auprès de l'auteur. La qualité de l'expérience réalisée dans ce mémoire doit aussi beaucoup au docteur Louis Laurencelle. Celui-ci a réalisé la programmation en temps réel de toute l'expérimentation avec le support d'un ordinateur inter-date 8/16. Le support technique dans la réalisation du montage expérimental et dans le déroulement de l'expérimentation a été assumé par monsieur Claude Brouillette, technicien. L'abondance des données et l'ampleur des traitements statistiques a exigé, sous la direction du docteur Louis Laurencelle, la collaboration de monsieur Pierre Black. L'auteur désire donc exprimer sa vive gratitude à l'endroit de ces personnes.

Enfin, l'auteur ne veut pas passer sous silence la collaboration, à titre varié, de plusieurs personnes (sujets d'expérience, personnel technique, etc.) du CEGEP de Shawinigan et de l'Université du Québec à Trois-Rivières. De sincères remerciements s'adressent aussi à ces personnes.

## TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME .....	I
REMERCIEMENTS .....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
CHAPITRE	
I. INTRODUCTION.....	1
Concept de difficulté d'une tâche.....	2
Mesure de la difficulté d'une tâche.....	4
Indice de difficulté de Fitts.....	4
Indice de l'attention.....	6
But de l'étude.....	9
II. REVUE DE LA LITTERATURE .....	12
La recherche face à l'indice de Fitts.....	12
Globalité de l'indice.....	12
Application diversifiée de l'indice.....	15
La recherche face à l'indice de l'attention.....	17
Mouvements simples.....	17
Mouvements globaux.....	22
La recherche sur la relation entre ces deux indices	22
III. METHODOLOGIE.....	24
Sujets.....	24
Tâche primaire.....	24
Tâche secondaire.....	27
Plan expérimental.....	27
Appareillage.....	28
Fonctions de l'ordinateur.....	30
Procédure.....	33



CHAPITRE	Page
IV. RESULTATS.....	38
Présentation générale.....	38
Contrôle de la tâche primaire.....	40
Réussite des tâches.....	40
Erreurs de frappe.....	43
Contrôle de la tâche secondaire.....	52
Moments temporels d'émission du signal sonore	52
Ordre numérique d'apparition du signal sonore..	53
Effets d'intervalle.....	53
Performance dans la tâche primaire.....	58
Erreurs de frappe.....	58
Erreur algébrique temporelle.....	60
Erreur quadratique temporelle moyenne.....	63
Performance dans la tâche secondaire.....	66
V. DISCUSSION.....	70
Contrôle de la tâche primaire.....	70
Contrôle de la tâche secondaire.....	71
Moments temporels.....	71
Ordre numérique d'apparition du signal sonore..	72
Effets d'intervalle.....	73
Performance dans la tâche primaire.....	73
Erreurs de frappe.....	74
Erreur algébrique temporelle.....	77
Erreur quadratique temporelle moyenne.....	79
Résumé.....	81
Performance dans la tâche secondaire.....	81
Indice de l'attention.....	82
Indice de difficulté de Fitts.....	85
Résumé.....	87
Conclusion.....	88
ANNEXES	
A: Tableaux des résultats.....	92
B: Estimation des probabilités.....	108
NOTES DE REFERENCE.....	111
REFERENCES.....	112

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1. Les 9 tâches expérimentales choisies conformément à la loi de Fitts (1954) selon les paramètres d'amplitude (cm), de largeur de la cible (cm) et d'indice de difficulté (Bits).....	26
2. Les 114 moments temporels pour l'émission possible du signal sonore, identifiés selon la direction du mouvement, la position du signal sonore (SS <sub>1</sub> à SS <sub>3</sub> ) et le moment de la frappe des cibles gauche et droite.....	92
3. L'enregistrement des données brutes telles que formulées et mémorisées sur fichier-disque pour chacun des essais.....	94
4. Probabilités théoriques (P. T.) et taux observés (T. O.) de réussite des tâches de frappe au premier essai selon les conditions témoin et expérimentale et l'indice de difficulté (I. D.).....	95
5. Taux observés d'essais réussis selon le nombre d'erreurs de frappe commises dans l'essai en fonction des tâches, des conditions témoin et expérimentale et de l'indice de difficulté (ID), compte tenu de la probabilité théorique (Pt) de réussir une frappe pour une tâche donnée.....	96
6. Taux théoriques d'essais réussis selon le nombre d'erreurs de frappe commises dans l'essai en fonction des tâches, des conditions témoin et expérimentale et de l'indice de difficulté (ID), compte tenu de la probabilité théorique (Pt) de réussir une frappe pour une tâche donnée.....	97
7. Fréquence d'utilisation de chacun des moments temporels pour chacune des positions du signal sonore dans les conditions témoin et expérimentale.....	98
8. Analyse de la variance des erreurs de frappe.....	99

# LISTE DES TABLEAUX (suite)

Tableau	Page
9. Test de Scheffé sur les erreurs de frappe pour les 9 tâches et l'indice de difficulté.....	100
10. Analyse de la variance de l'erreur algébrique temporelle de la frappe.....	101
11. Test de Scheffé sur l'erreur algébrique temporelle pour les 9 tâches et l'indice de difficulté.....	102
12. Analyse de la variance de l'erreur quadratique temporelle moyenne de la frappe.....	103
13. Test Tukey (a) sur le facteur équivalence de tâche pour l'erreur quadratique temporelle moyenne.....	104
14. Analyse de la variance des temps de réaction.....	105
15. Test de Scheffé sur les temps de réaction pour le facteur équivalence de tâche .....	107

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1. Illustration du montage expérimental.....	35
2. Nombre de premiers essais réussis pour les 64 essais / tâche (16 sujets x 4 séances) dans chacune des tâches pour les conditions témoin et expérimentale.....	41
3. Probabilité théorique moyenne et taux observé moyen de réussir la tâche en 1, 2, 3 ou 4 (échec) essais pour l'ensemble des 9 tâches de frappe dans la condition témoin.....	44
4. Probabilité théorique moyenne et taux observé moyen de réussir la tâche en 1, 2, 3 ou 4 (échec) essais pour l'ensemble des 9 tâches de frappe dans la condition expérimentale.....	45
5. Nombre de premiers essais réussis sans aucune erreur de frappe pour les 64 essais/tâche (16 sujets x 4 séances) dans chacune des tâches dans les conditions témoin et expérimentale.....	47
6. Taux théorique et taux observé d'essais réussis dans les tâches de frappe de la condition témoin selon le nombre d'erreur (s) de frappe commise (s) dans l'essai en considérant seulement le premier essai (5+ indiquant ce premier essai raté).....	50
7. Taux théorique et taux observé d'essais réussis dans les tâches de frappe de la condition expérimentale selon le nombre d'erreur (s) de frappe commise (s) dans l'essai en considérant seulement le premier essai (5+ indiquant ce premier essai raté).....	51
8. Temps de réaction médian (ms) pour chacun des 114 moments temporels alignés selon leur ordre chronologique d'apparition du signal sonore dans les essais pour les conditions témoin et expérimentale.....	54

## LISTE DES FIGURES (suite)

Figure	Page
9. Temps de réaction médian (ms) pour chacune des 6 positions alignées selon l'ordre numérique d'apparition du signal sonore dans l'essai pour les conditions témoin et expérimentale.....	55
10. Schéma d'un essai illustrant la définition des 3 différentes mesures de l'intervalle temporel du signal sonore et l'identification des variables mises en corrélation pour les conditions témoin et expérimentale regroupées.	56
11. Erreur moyenne de frappe par essai en fonction de l'indice de difficulté (bits) et selon l'orientation du mouvement (abduction et adduction).....	59
12. Moyenne des erreurs de frappe par essai dans chacune des tâches (conditions témoin et expérimentale regroupées).....	61
13. Erreur algébrique temporelle moyenne (ms) de la tâche de frappe en fonction de l'indice de difficulté (bits) et de l'orientation du mouvement (abduction et adduction) pour les conditions témoin et expérimentale regroupées....	62
14. Erreur algébrique temporelle moyenne (ms) de la tâche de frappe en fonction de la tâche et de l'orientation du mouvement (abduction et adduction) pour les conditions témoin et expérimentale regroupées.....	64
15. Erreur quadratique temporelle moyenne (ms) en fonction de la tâche dans les conditions témoin et expérimentale.....	65
16. Temps de réaction moyen (ms) en fonction de la position temporelle (ms) de l'émission du signal sonore dans l'essai pour les conditions témoin et expérimentale.....	67
17. Temps de réaction moyen (ms) en fonction de la tâche dans les conditions témoin et expérimentale.....	69

## CHAPITRE I

### Introduction

Le praticien en enseignement de l'activité physique et sportive structure des situations d'apprentissage qu'il nomme éducatifs. Le but avoué des éducatifs est de conduire le sportif à la maîtrise d'habiletés motrices. Un éducatif est en quelque sorte une tâche que le joueur accomplit selon des caractéristiques précises. Bien souvent, le praticien ordonne hiérarchiquement les tâches dans le but de provoquer une progression au cours de laquelle la probabilité d'échec est réduite. Au fil des ans et en vertu d'une expérience pertinente, le praticien en arrive à discerner globalement qu'une tâche est plus facile ou plus difficile qu'une autre. Par contre, il ignore souvent dans quelle mesure les paramètres de la tâche contribuent précisément à créer l'indice de difficulté.

Depuis les trois dernières décennies surtout, le développement de la cybernétique a coïncidé avec la mise en oeuvre de la théorie de l'information pour expliquer l'organisation et le contrôle du comportement humain (Singer, 1975). A la faveur d'un tel contexte, la notion d'attention a refait surface pour trouver, entre autres choses, des applications intéressantes en psychologie industrielle et en ergonomie (Richard, 1980). Le concept de difficulté d'une tâche s'est alors préci-

sé et des efforts ont été investis pour tenter de mesurer la difficulté rattachée à une tâche donnée, tels l'indice de difficulté de Fitts (1954) et l'indice de l'attention via la technique de la tâche secondaire.

L'exécution d'un mouvement peut être considérée comme étant l'accomplissement d'une tâche en fonction d'un objectif donné. Il convient donc de préciser le concept de difficulté d'une tâche et sa mesure selon les deux indices ci-dessus mentionnés avant d'explicitier le but de la présente étude.

#### Concept de difficulté d'une tâche

Le concept de difficulté d'une tâche s'impose en termes de notion fondamentale qu'il faut dépouiller de toute équivoque. Leavitt (1975) a mis en lumière la confusion entourant ce concept à travers les définitions descriptives le plus souvent établies par comparaison a posteriori de plusieurs tâches. De telles comparaisons s'expriment généralement dans une performance mesurable selon un critère de performance comme, par exemple, le nombre et le taux de réussites ou d'erreurs, le temps d'exécution, la longueur parcourue, la hauteur atteinte. Dans cette perspective, la difficulté d'une tâche est estimée dans un continuum facile-difficile en fonction du niveau de performance exigé. Une tâche plus difficile correspond à un critère plus sévère de performance et définit un plus grand investissement de la capacité limitée (Kantowitz et Knight, 1978a). En gardant un tel lien avec un critère de performance, la notion de difficulté ne qualifie qu'extrinsèquement la dite tâche.

Par contre, utilisant le mot complexité au lieu du mot difficulté,

Hayes et Marteniuk (1976) affirment l'existence d'un indice de difficulté "en soi" dans le concept de complexité d'une tâche. L'indice de difficulté d'une tâche demeure constant; ce qui change, c'est la performance dans l'exécution de la tâche en fonction, par exemple, de la pratique, du niveau d'habileté du performant, de l'âge... Il existe des critères de difficulté de tâche comme il existe des critères de performance pour jauger les résultats obtenus dans une tâche. Brown (Note 1) a identifié quelques uns des principaux critères pouvant déterminer jusqu'à quel point une tâche est difficile. De tels critères réfèrent à 1<sup>e</sup>) la charge d'information engendrée par les stimuli présents, 2<sup>e</sup>) le rythme de manipulation de cette information, 3<sup>e</sup>) l'éventail de réponses possibles, 4<sup>e</sup>) la cadence des réponses effectivement manifestées, 5<sup>e</sup>) la compatibilité stimulus-réponse et 6<sup>e</sup>) la charge que représentent les processus de décision au niveau de la mémoire à long terme et à court terme. Le degré de difficulté d'une tâche peut donc être modifié en intervenant au niveau d'un ou de plusieurs critères caractérisant intrinsèquement la tâche.

La difficulté d'une tâche serait constante en autant que seraient impliqués les mêmes processus de la capacité limitée. Ces processus fixent les exigences imposées au comportement humain et ce, indépendamment des effets produits et des critères d'exécution extrinsèques à la tâche (Fitts 1964; Leavitt, 1975). Ces exigences sur le comportement humain qualifient intrinsèquement la tâche définie par la charge d'information à traiter. Une telle formulation est fondamentalement



présente dans le modèle de l'attention suggéré par Kahneman (1973).

Voilà donc précisée clairement, semble-t-il, une notion qu'il importe de bien situer pour éviter toute ambiguïté et imprécision possible. L'expression de ce qu'est la difficulté d'une tâche en vertu de ce qu'elle n'est pas a d'ailleurs été fort bien définie par Leavitt (1975):

La difficulté d'une tâche ne doit plus être vue comme un produit lié à la performance du sujet mais bien comme l'expression du contenu d'information sous-jacent aux exigences de l'habileté. La difficulté d'une tâche est la charge d'information formulée en termes de quantité et / ou de temps requis pour traiter l'information. (p. 12.7).

#### Mesure de la difficulté d'une tâche

Indice de difficulté de Fitts. A partir de la théorie de l'information, des efforts pour quantifier à priori la difficulté d'une tâche ont semblé donner des résultats assez intéressants. Fitts (1954) et Fitts et Peterson (1964) ont quantifié la difficulté d'une tâche dans une relation logarithmique faisant appel à l'amplitude (A) du mouvement et à la largeur (L) de la cible. L'indice de difficulté (ID) exprimé en bits/réponse s'établissait selon la formulation suivante:

$$ID = \log_2 (2A/L).$$

L'amplitude était définie par la distance linéaire entre les centres des deux cibles. Cette relation entre l'amplitude et la précision d'un mouvement rendait possible la prédiction du temps de mouvement (TM) éva-

lué dans l'équation

$$TM = a + b \log_2 (2^A / L)$$

où a et b sont des constantes empiriques identifiées comme paramètres de régression. L'ordre de grandeur temporelle des mouvements utilisés dans les différentes expériences effectuées par ces deux derniers auteurs variait entre 180 et 1000 ms. Ces mouvements très courts consistaient soit en des tâches continues de frappe (tapping) et de transport d'objets (jetons troués ou chevilles) soit en des tâches discontinues de frappe.

La loi de Fitts s'est révélée d'application remarquable pour une grande variété de tâches analysées dans l'optique de notre capacité limitée à traiter l'information (Langolf, Chaffin et Foulke, 1976). Selon ces auteurs, il est impressionnant de constater que nombre de modèles linéaires rendant compte de la capacité limitée de notre système moteur à traiter l'information conduisent à la loi de Fitts ou, à tout le moins, à une formulation très peu modifiée de la loi de Fitts comme, par exemple, la correction suggérée par Crossman (1957, cité in Welford, 1968) ou l'équation proportionnelle de Langolf (Langolf, Chaffin et Foulke, 1976) ou encore son application par Keele (1968) en fonction du nombre de corrections exigées dans un mouvement complexe.

L'indice de difficulté de Fitts apparait donc comme un indice valide pour quantifier le niveau de difficulté d'une tâche. Cependant, la portée de son application est plutôt limitée. Elle est limitée aux tâches dans lesquelles trois paramètres du mouvement sont en cause: l'ampli-

tude du mouvement, la précision terminale (largeur de la cible) et la vitesse de mouvement. Encore là, sa validité n'en a été vérifiée que pour des mouvements uni-segmentaires.

Il n'existe donc pas de mesure de difficulté qui serait générale, c'est-à-dire qui s'appliquerait à toute tâche perceptivo-motrice dans laquelle différents paramètres du mouvement pourraient être en cause (v. g. temps de réaction, anticipation temporelle, organisation spatiale). A titre d'exemple, comment est-il possible de comparer objectivement le niveau de difficulté d'une tâche de lancer en précision avec celui d'une tâche d'attraper un objet qui se déplace? Il est donc nécessaire de développer une mesure plus générale exprimant la difficulté d'une tâche.

Indice de l'attention. Une autre mesure de la difficulté d'une tâche est rattachée au modèle de l'attention exprimée en termes de capacité générale pouvant être allouée au traitement de l'information exigé par une tâche. Il s'agit de la technique de la tâche secondaire (exécutée en simultanéité avec la tâche primaire) reflétant la capacité de réserve (Kahneman 1973) et se manifestant comme indice de l'attention face aux exigences de la tâche primaire. Dans la mesure où la tâche primaire requiert de l'attention, il s'ensuit une dégradation de la performance connue dans la tâche secondaire. Dans l'accomplissement simultané des deux tâches, il importe 1<sup>e</sup>) que la tâche primaire - la plus importante - soit maintenue à son niveau de performance comme si elle était exécutée seule, 2<sup>e</sup>) que la tâche secondaire ne soit pas la cause d'une inter-

férence structurale entre les deux tâches (Girouard, 1980; Kahneman, 1973) et 3<sup>e</sup>) que la tâche secondaire puisse permettre la comparaison en identifiant à quel niveau elle produit son effet (Girouard, Vachon et Dessureault, Note 2; Kahneman, 1973). Un tel niveau peut référer, par exemple, à la perception des stimuli, à la mémoire ou à la sélection de la réponse.

Tout en reconnaissant la puissance fort prometteuse de la méthodologie de la technique de la tâche secondaire pour comparer diverses tâches spécifiques ou différentes conditions entourant une tâche, Brown (Note 1) indique qu'il est fort improbable que l'on puisse trouver une tâche secondaire interagissant de façon non spécifique avec les tâches comparées si différentes dans les catégories et les critères qui les définissent. Cela revient à dire que les comparaisons de difficulté entre diverses tâches seraient assez limitées. En effet, connaissant les facteurs définissant une tâche, le choix de la tâche secondaire la plus adéquate pour évaluer le niveau de difficulté donnerait des résultats tronqués dans la mesure où certains autres facteurs de la tâche ou des tâches comparées affecteraient aussi mais de façon très irrégulière, la tâche secondaire. C'est un problème de taille qu'il faut solutionner rigoureusement.

Poursuivant sa réflexion face à la tâche secondaire, Brown (Note 1) en arrive à la conclusion que la variable importante est la distribution du temps de réserve qui demeure disponible pour la tâche secondaire durant

l'exécution même de la tâche primaire. Il reste alors à déterminer une tâche secondaire sensible aux caractéristiques temporelles de la tâche primaire. Cette tâche, selon ce dernier auteur, peut être toute tâche secondaire répétitive en privilégiant l'auto-régulation (self-paced) qui minimise l'interférence possible entre les deux tâches (probablement en retardant la prochaine répétition de la tâche secondaire mais Brown n'est pas explicite là-dessus).

Cette idée de connaître la distribution du temps de réserve a donné lieu à l'utilisation d'une tâche secondaire de temps de réaction appelée "technique de la sonde" (probe technique). Une sonde peut être envoyée à n'importe quel moment de la tâche primaire. Il en résulte un balayage de la tâche primaire. Une telle technique permet de distinguer les fluctuations de l'exigence en attention selon les divers moments et/ou parties de la tâche primaire, ce qui est sans contredit un réel avantage (Kantowitz et Knight, 1978b).

Le choix d'une tâche de temps de réaction comme tâche secondaire dans le but de mesurer l'attention requise dans la tâche primaire est tout à fait indiqué. En effet, la tâche primaire est analysée dans l'optique d'une quantité d'information à traiter par la capacité limitée. Or, par définition, le temps de réaction est le temps requis pour traiter l'information. Cette information contenue, au départ, dans un stimulus est captée et analysée par le système sensoriel pour ensuite être véhiculée et traitée par le système nerveux central. De cette information

ainsi traitée résulte une réponse, expression d'une décision. Le temps de réaction reflète linéairement la quantité d'information traitée. C'est une mesure fort pratique. Les standards sont connus et la performance maximale du temps de réaction pour un sujet est facile à établir. De plus, le choix du canal sensoriel utilisé pour la tâche de temps de réaction permettrait de solutionner le problème d'interférence lorsqu'on voudrait comparer deux tâches primaires différentes qui ne pourraient s'exécuter avec une seule et même tâche secondaire à cause de l'interférence produite chez l'une d'elle.

Il semble bien qu'une tâche de temps de réaction est une modalité optimale pour évaluer la distribution du temps de réserve pointée par Brown (Note 1). Une telle tâche secondaire ne peut donc être qualifiée de trop complexe comme le laissent sous-entendre Kantowitz et Knight (1978b). Au contraire, la tâche de temps de réaction sous sa forme la plus simple, i.e. avec une seule réponse possible, met en cause une charge perceptuelle minimale exigeant un traitement minimal d'information. Il devient alors possible de détecter les moindres variations dans la capacité de réserve.

#### But de l'étude

Comme en témoignera la revue de la littérature au prochain chapitre, ces deux mesures de la difficulté d'une tâche, développées sur la base de la théorie de l'information, ont inspiré de nombreuses recherches. Tandis que l'indice de difficulté de Fitts semble s'appliquer à un

certain nombre de tâches circonscrites, l'indice de l'attention semble possiblement valoir pour l'ensemble des tâches. Cependant, avant de généraliser ce deuxième indice, il convient de le valider et d'en préciser les relations avec le premier. Le but de l'étude est donc d'examiner les relations entre l'indice de difficulté de Fitts et l'indice de l'attention requise telle que mesurée à l'aide de la technique de la tâche secondaire de temps de réaction.

En utilisant des tâches indicées selon la loi de Fitts et conformes aux paramètres visés par cette loi et en recourant à la technique de la tâche secondaire de temps de réaction, la comparaison entre l'indice de difficulté de Fitts et l'indice de l'attention devient possible. L'hypothèse principale à vérifier est la suivante: la détérioration de la performance dans la tâche secondaire est proportionnelle à l'indice de difficulté de la tâche primaire. Il sera aussi possible d'évaluer certains aspects corollaires, en particulier la distribution de l'attention durant les différentes phases du mouvement en fonction de la difficulté que représente ce mouvement (tâche primaire). Dans la mesure où l'indice de l'attention et l'indice de difficulté de Fitts identifieraient un même phénomène appelé degré de difficulté des tâches, une sous-hypothèse voudrait que les courbes en U asymétrique (Posner et Keele, Note 3) soient parallèles et distancées en fonction de l'indice de difficulté de Fitts. Dans un tel cas, l'affirmation pourrait être faite à l'effet que ces deux mesures arrivent au même résultat bien que par des voies dif-

férentes. Le résultat serait alors l'expression de l'évaluation d'un seul et même phénomène.

L'indice de difficulté de Fitts s'applique à une gamme déterminée de mouvements définis en fonction de l'amplitude et de la précision terminale. Par contre, l'indice de l'attention peut constituer un dénominateur commun de la difficulté des tâches s'il s'avère être plus général et plus universel que celui de Fitts. Des tâches jugées différentes en fonction des critères spécifiques qui les catégorisent pourraient alors être comparées entre elles.



## CHAPITRE II

### Revue de la littérature

#### La recherche face à l'indice de Fitts

Globalité de l'indice. L'indice de Fitts (1954), c'est la formulation de la difficulté d'une tâche basée sur le ratio amplitude/précision et exprimée en termes de traitement de l'information. A partir de cet indice, il devient possible de prédire le temps de mouvement d'une tâche mettant en jeu la relation vitesse-précision: c'est la loi de Fitts. Selon Welford (1968), la prédiction du temps de mouvement en fonction d'un tel ratio était une première hypothèse. Celle-ci n'excluait pas une seconde hypothèse, à savoir que l'amplitude et la précision seraient deux variables dont les effets additifs pourraient aussi rendre compte du temps de mouvement. Ainsi, le temps de mouvement se départagerait en deux phases: une phase rapide pour couvrir la distance (amplitude), une phase lente pour solutionner adéquatement la précision finale. Bien que les données de Welford (1969) se prêtèrent à l'une et l'autre des hypothèses, le choix de l'hypothèse rendant le mieux compte des données ne fut pas arrêté.

Bainbridge et Sanders (1972) vérifièrent laquelle des deux hypothèses (ratio ou additivité des variables) correspondait le mieux au calcul des données. Ces auteurs contrôlèrent donc la durée et l'amplitude des mouvements et prirent comme variable dépendante la mesure de la précision (largeur effective de la cible). En d'autres termes, il

s'agissait des tâches inversées de Fitts. La cible d'origine était un simple trait. L'enregistrement des frappes de part et d'autre de ce trait permettait de fixer la largeur ( $L'$ ) de la cible selon la technique très simple utilisée par Welford (1969). L'amplitude ( $A'$ ) effective était alors déterminée par le centre des cibles constituées à posteriori. Comme résultat, les données recueillies manifestèrent une relation linéaire entre la largeur de la cible et l'amplitude. Cette relation donnait lieu aussi à une interaction avec le temps de mouvement. La largeur de la cible et l'amplitude ne furent donc pas identifiées comme composantes additives indépendantes dans la solution de l'équation du temps de mouvement. C'est le ratio amplitude/précision qui permettait de prédire le temps de mouvement dans la loi de Fitts.

Sheridan (1979) a tenté de démontrer que l'expression réelle de l'indice de difficulté se rattachait plutôt à la variable précision, i.e. la largeur de la cible. En se référant aux données de Fitts (1954), cet auteur croyait déceler une tendance à l'effet que les temps de mouvement les plus longs correspondaient aux tâches impliquant les plus petites cibles à l'intérieur d'un même indice de difficulté. Malheureusement, Sheridan a omis certaines données dans la réorganisation qu'il en a faite et, de plus, n'a procédé à aucun calcul statistique.

Posée autrement, la question de Sheridan aurait pu être à l'effet de savoir quelle quantité d'information traitée incombait à chacune des variables. Par sa technique de dissociation des effets, Welford (1969)

a calculé la quantité d'information traitée en fonction de chacune de ces deux variables chez les adultes. Les résultats indiquaient que la largeur de la cible correspondait à une plus grande quantité d'information traitée par rapport à l'amplitude. Hay (1981) a aussi dissocié de tels effets dans son étude chez des groupes d'enfants répartis selon leur âge: 5, 7, 9 et 11 ans. A l'exception du groupe des 5 ans, il y a eu plus de traitement d'information en regard de la largeur de la cible qu'en regard de l'amplitude du mouvement. La quantité d'information traitée s'accroissait avec l'âge, ayant comme conséquence de réduire le temps de mouvement. L'exception du groupe des 5 ans s'expliquerait par la sous-utilisation des processus de rétro-action à cet âge.

Fitts et Radford (1966) ont aussi étudié si des consignes précises pour exécuter des tâches indicées entre 3 et 7 bits pouvaient influencer le temps de mouvement. En mettant l'accent soit sur la vitesse, soit sur la précision, les temps de mouvement ont très peu varié. C'est encore le changement d'indice de difficulté qui a correspondu le plus au changement dans les temps de mouvement. Malgré tout, pour les mouvements les plus faciles et les plus difficiles (à l'exclusion des mouvements de difficulté intermédiaire) une tendance s'est manifestée. En effet, les mouvements les plus faciles ont été exécutés avec plus d'efficacité sous la consigne de précision et les mouvements les plus difficiles s'accommodèrent mieux d'une consigne de vitesse. Au point de vue méthodologique, la similitude de l'appareillage utilisé et des tâches ma-

nipulées dans cette étude-ci et l'étude précédente de Fitts et Peterson (1964) avait été prévue pour emprunter à cette dernière étude des critères de référence pour les temps de mouvement et les temps de réaction.

Application diversifiée de l'indice. Nombre de recherches ont porté sur la vérification de l'indice de difficulté en faisant appel à des tâches très semblables à celles qui ont prévalu lors de la formulation de cet indice. Par exemple, Kerr et Langolf (1977) ont vérifié la loi de Fitts en empruntant à son auteur les mêmes tâches mais, cette fois-ci, exécutées dans le plan sagittal. D'autres recherches ont exploré des variables quelque peu différentes à la lumière de ce même indice. Le champ d'application s'en est alors trouvé un peu mieux défini dans son étendue et dans ses limites comme en témoignent les études qui suivent.

Jagacinski, Hartzell, Ward et Bishop (1978) ont vérifié la pertinence de l'indice de difficulté de Fitts lors de mouvements simples discontinus. Ils analysèrent l'effet du contrôle de la position et du contrôle de la vitesse dans une tâche consistant à aligner un curseur et une cible sur un écran cathodique et ce, en manipulant un bras de commande. L'indice de difficulté variait entre 2.58 et 6.61 bits dans une combinaison de trois amplitudes et quatre largeurs de cible pour un total de 12 mouvements différents. Le temps de mouvement (TM) et le temps total ( $TT = TR + TM$ ) variaient linéairement avec l'indice de difficulté. Pour ces deux variables dépendantes, le contrôle de la vitesse affichait une pente de la ligne de régression deux fois plus élevée comparativement

à celle du contrôle de la position. Le lien de correspondance stricte existant entre le contrôle de la position du bras de commande et le contrôle de la position du curseur s'estomperait lorsque le contrôle de la vitesse du curseur est en jeu, ce qui, selon les auteurs, expliquerait la différence de pente. Dans l'exécution de la tâche, le contrôle de la vitesse serait un degré de liberté additionnel causant l'augmentation de la pente du temps de mouvement. Le degré d'incertitude quant à la grandeur de la cible qui allait être présentée n'a pas révélé d'effet sur le temps de réaction, ce qui confirmait les résultats de Fitts (1964).

Une analyse très sophistiquée des patrons de mouvement observés dans des tâches indicées selon la loi de Fitts fut faite par Langolf, Chaffin et Foulke (1976). L'étude a démontré que les patrons de mouvements des trois sujets analysés ne se conformaient pas au modèle linéaire de la loi de Fitts. De tels résultats ne pouvaient entraîner une remise en question de la loi de Fitts puisque l'indice de difficulté n'a pas été formulé dans le but de se voir appliquer aux patrons de mouvements. Par contre, ces mouvements sollicitant soit un doigt, soit une main ou le bras entier ont répondu à la loi de Fitts dans le calcul du temps requis pour l'exécution de ces tâches impliquant la relation vitesse-précision. Cette étude a permis de constater une augmentation de la pente de la ligne de régression en fonction de l'augmentation de la masse segmentaire sollicitée dans les mouvements. Selon les auteurs, une telle augmentation pourrait s'expliquer par une efficacité décroissante de la ca-

pacité limitée de notre système à traiter l'information en fonction des membres sollicités dans le mouvement; toutefois la nature de ces différences reste encore à expliquer.

#### La recherche face à l'indice de l'attention

La majorité des études ont d'abord été réalisées avec des mouvements simples plus facilement contrôlables en laboratoire. Puis, ces dernières années ont vu apparaître l'étude de l'exigence en attention dans des mouvements globaux beaucoup plus complexes exécutés dans leur contexte habituel. Cette deuxième partie de la revue de la littérature se divisera donc selon ces deux catégories de mouvements évalués par l'intermédiaire d'une tâche secondaire de temps de réaction.

Mouvements simples. La synthèse des études concernant la demande en attention lors de mouvements simples (voir: Girouard, 1980; Klein, 1976; Posner et Keele, Note 3) avec l'utilisation d'une tâche de temps de réaction comme tâche secondaire permet de constater une courbe ayant la forme d'un U asymétrique comme expression de la relation entre l'attention et l'exécution de ces mouvements simples exigeant de la précision. Règle générale, l'attention est plus élevée immédiatement avant et au début du mouvement; durant le déroulement du mouvement, l'attention diminue pour connaître une remontée intermédiaire vers la fin du mouvement. Cette remontée est d'autant plus importante que la précision terminale est grande.

Les recherches effectuées par Ellis (1973) ont mis en relief cer-

tains autres facteurs qui, dans le mouvement, correspondaient à une exigence accrue de l'attention. Dans ces études, la tâche primaire consistait à aligner un pointeur sur l'une des deux cibles de différentes grandeurs en manipulant un bras de levier. Il pouvait aussi être demandé au sujet de ne point faire de mouvement: c'était là le troisième niveau de précision. Quatre niveaux d'incertitude quant à la direction du mouvement étaient aussi manipulés. La tâche secondaire en était une de temps de réaction au choix entre deux sons qu'il fallait distinguer en actionnant un bouton-interrupteur dans l'une ou l'autre direction. Comme résultats, l'attention plus élevée immédiatement avant le début du mouvement l'était davantage face à un degré plus élevé d'incertitude reliée à la direction du mouvement. La courbe globale de l'attention la plus élevée correspondait au mouvement exigeant la plus grande précision terminale alors que la courbe la moins élevée s'appliquait à la situation où aucun mouvement n'était requis. Ce dernier résultat signifierait que la discrimination du stimulus et l'organisation de la réponse seraient deux processus séparés accaparant différemment l'attention.

Dans ses études, Ellis (1973) n'a pas constaté la remontée finale de la courbe au terme du mouvement. Selon l'auteur, la raison en serait qu'il s'agit de mouvements ballistiques s'exécutant en l'absence de rétro-action visuelle. Dans un tel cas, tout l'ajustement en vue de la précision finale aurait été solutionné au début du mouvement sans

qu'il soit besoin d'une reconsidération ultérieure en vue d'une correction jugée possible ou nécessaire. Pourtant, la durée des mouvements oscillait bien entre 150 et 400 ms environ. Les mouvements les plus longs auraient pu intégrer une rétro-action s'il eût été nécessaire. En effet, Keele et Posner (1968) ont évalué entre 190 et 260 ms le temps minimum pour procéder à une correction de mouvement en présence de la rétro-action visuelle. Carlton (1981) a même estimé à 135 ms le temps minimum requis pour effectuer une correction de mouvement, une fois l'information visuelle disponible. Il s'agirait là du temps écoulé entre une saccade de l'oeil et le début de la modification du patron de mouvement. A la lumière de ces données, l'hypothèse la plus pertinente semblerait soutenir que la fin des mouvements n'exigeait pas de correction. Le genre de mouvements exécutés dans les expériences de Ells (1973) aurait favorisé un patron de mouvement du bras et de la main répété avec la même exactitude (ne nécessitant aucune correction) puisque la contrainte du bras de levier manipulé en fixait le trajet. Il en aurait été autrement peut-être s'il avait fallu pointer une cible avec un stylet tenu dans une main complètement libre tout au long du trajet. Langolf, Chaffin et Foulke (1976) ont d'ailleurs observé les variations du patron de mouvement lors d'un même mouvement répété.

En s'appuyant sur ces dernières recherches de Ells (1973), McLeod (1980) a soutenu que c'est la fin du mouvement qui exigerait le plus d'attention et non pas la sélection et l'amorce du mouvement.



Pour ce dernier auteur, la mesure du temps de réaction manifesterait la durée entière de l'interférence présente depuis l'apparition du signal jusqu'à la réponse effective à ce signal. Le temps de réaction n'exprimerait donc pas l'exigence en attention au moment même de l'émission du signal comme le voudrait les adhérents de la courbe classique de l'attention. La méthodologie consisterait alors à regrouper les temps de réaction non plus en fonction de l'émission du signal mais en fonction de la réponse à ce signal. Le temps de réaction plus élevé au début du mouvement s'expliquerait à cause d'un plus long chevauchement des deux tâches comparativement à un signal qui aurait été émis à mi-chemin de l'exécution de la tâche primaire.

Bien que cette idée de McLeod (1980) de regrouper les temps de réaction en fonction de la réponse au signal puisse paraître d'une certaine originalité, il est difficile de suivre son raisonnement dans l'étude expérimentale qu'il en a faite. En effet, cet auteur n'a donné aucun résultat concernant la tâche primaire utilisée et a été trop succinct concernant les tâches secondaires qu'il a comparées (temps de réaction manuel et vocal) sans mentionner de traitement statistique. Dans le regroupement des données en fonction de la réponse, le temps de réaction manuel élevé à la fin du mouvement serait plutôt la manifestation de l'interférence (concurrence) dans l'exécution des deux tâches manuelles. Dans un tel cas, il faudrait douter de la stabilité de la performance de la tâche primaire, ce qui a d'ailleurs été observé dans une autre recher-

che de McLeod (1978).

La recherche a cerné assez rapidement la précision comme étant un facteur influençant l'exigence en attention d'un mouvement. Par rapport à cette exigence, d'autres facteurs impliqués dans ce genre de mouvement ont été étudiés. Salmoni, Sullivan et Starkes (1976) ont analysé l'effet du temps de mouvement et de la longueur du mouvement sur l'exigence en attention mais n'ont pas pu démontrer l'influence de ces facteurs. Newell et Hoshizaki (1980) ont fait varier la durée et la vitesse de mouvement. Dans le contrôle de la durée, les sujets devaient déplacer un curseur le long d'un rail sur une distance de 10 cm en 100, 500 ou 1000 ms. Le mouvement de plus courte durée a exigé le moins d'attention. Mais ce mouvement était en même temps le plus rapide. Il a donc fallu en dissocier l'effet de la vitesse dans une autre expérience. Dans cette deuxième expérience, les résultats ont permis de dégager que le mouvement le plus rapide a exigé plus d'attention avant l'amorce du mouvement et moins pendant son exécution. Pour le mouvement le plus lent, l'inverse s'est produit. Cependant, l'exigence en attention n'a pas varié de façon significative entre les mouvements de différentes vitesses dans la phase précédant l'exécution du mouvement. La différence s'établirait seulement durant l'exécution du mouvement. Mais d'autres études impliquant un meilleur échantillon de mouvement seraient nécessaires pour conclure sur l'effet de la vitesse. En même temps, il pourrait être vérifié si le phénomène d'in-

hibition des muscles non nécessaires à un geste lent serait un facteur expliquant une plus grande exigence en attention. Falkenberg et Newell (1980) ont d'ailleurs pensé à une telle hypothèse pour expliquer le temps de réaction plus long à l'amorce d'un mouvement plus lent. L'étude de Newell et Hoshizaki (1980) a justement révélé que le temps d'amorce du mouvement s'est accru avec la diminution de la vitesse.

Mouvements globaux. Quant aux mouvements de plus grande envergure, les recherches connues sont encore peu nombreuses actuellement. Les résultats ont indiqué tout de même qu'il y a certaines exigences en attention lors de mouvements aussi familiers que la marche et la course (Girouard et alii, Note 4, Note 5). Evidemment, les recherches n'ont pas encore permis de percevoir s'il y a un patron de l'indice de l'attention pour des mouvements aussi globaux. Par contre, une première étude (Girouard et alii, Note 6) du saut en hauteur chez deux athlètes de calibre international a révélé un patron individuel de l'indice de l'attention. L'attention exigée était plus grande à la phase du mouvement où le sauteur éprouvait certaines difficultés techniques d'exécution.

#### La recherche sur la relation entre ces deux indices

Kantowitz et Knight (1978b) ont vérifié la demande en attention en utilisant le paradigme de la tâche secondaire tel qu'exprimé par Brown (Note 1) plutôt que par la technique de la sonde qu'ils jugent être plus complexe qu'elle ne le semble à première vue. La tâche primaire

de frappe avec un rythme imposé de deux mouvements par seconde comprenait deux niveaux de difficulté établis selon l'indice de Fitts. A chaque niveau de difficulté correspondait soit les trois mêmes largeurs de cible avec, évidemment, la variation conséquente de l'amplitude soit l'inverse, pour un total de six mouvements par indice de difficulté. Deux niveaux de tâche secondaire auto-répétitive étaient comparés: l'une consistait à nommer les chiffres, l'autre à les transformer. Les auteurs ont trouvé effectivement que l'indice de l'attention requise pour exécuter la tâche principale (l'indice étant la performance dans la tâche secondaire) reflétait la difficulté de cette tâche principale telle que mesurée par l'indice de difficulté de Fitts. De plus, les sujets avaient tendance à émettre leurs réponses de la tâche secondaire à mi-chemin du mouvement et légèrement du côté de l'amorce du mouvement.

## CHAPITRE III

### Méthodologie

#### Sujets

Pour s'assurer d'un groupe homogène, le recrutement des sujets se fit parmi les 78 athlètes (50 garçons et 28 filles) du sport intercollégial du CEGEP de Shawinigan. Pour chacun des sexes, 20% des athlètes acceptèrent volontairement l'invitation en fonction de leur disponibilité au début de leurs vacances estivales. Le groupe se composait donc de 10 garçons et de 6 filles. L'âge moyen atteignait 19.3 ans ( $s = 1.1$  an).

#### Tâche primaire

La tâche primaire consistait à frapper alternativement deux cibles en leur centre selon un rythme imposé de 740 ms entre chacune des frappes. Le sujet devait toucher alternativement chacune des deux cibles à l'aide d'un stylet métallique tenu dans sa main dominante et en utilisant un mouvement continu d'abduction et d'adduction horizontales du bras. Cette tâche (tapping task) était conforme aux paramètres identifiés par Fitts (1954) lors de son étude visant à définir un indice de difficulté des tâches. Les trois amplitudes choisies étaient 10.2, 20.5 et 41.0 cm. Ces mesures correspondaient à la distance entre les centres des deux cibles. Il s'agissait d'ailleurs des trois amplitudes manipu-

lées dans la recherche de Kantowitz et Knight (1978b). C'est à ces mêmes auteurs que fut empruntée l'idée d'imposer un rythme de frappe en utilisant le clignotement alternatif de deux lumières.

Pour être considérée bonne, la frappe devait se produire durant une période de 100 ms avant ou après le clignotement de la lumière correspondante. La combinaison des trois amplitudes et des trois indices de difficulté choisis (2, 4 et 6 bits) a donné lieu à sept largeurs différentes de cibles. Dans deux cas, une même largeur de cibles chevauchait deux niveaux de difficulté. Comme le montre le tableau 1, pour chaque amplitude et pour chaque niveau de difficulté, trois tâches étaient prévues. Le nombre total des tâches primaires s'élevait donc à neuf.

La durée de chaque essai totalisait 40 secondes. Durant ce temps, 54 frappes de cibles étaient exécutées. Seules les 40 dernières frappes étaient retenues et enregistrées en vue de l'analyse de la performance. Les 14 premières frappes donnaient au sujet le temps de s'ajuster au rythme des lumières. Le critère d'acceptation d'un essai réussi tolérerait tout au plus quatre erreurs de frappe, soit un taux maximal de 10% d'erreurs. Une erreur de frappe consistait à ne pas toucher la cible en dedans des 200 ms prévues. En cas d'échec, c'est-à-dire à la cinquième erreur, l'essai cessait immédiatement et le sujet avait droit jusqu'à deux reprises.

Dans chacune des neuf tâches, deux conditions étaient réalisées.

Tableau I

Les 9 tâches expérimentales choisies conformément à la loi de Fitts (1954) selon les paramètres d'amplitude (cm), de largeur de la cible (cm) et d'indice de difficulté (bits)

Amplitude	Indice de difficulté (bits)					
	2		4		6	
	Largeur	(N <sup>0</sup> ) <sup>a</sup>	Largeur	(N <sup>0</sup> )	Largeur	(N <sup>0</sup> )
10.20	5.10	(2.1)	1.25	(4.1)	0.32	(6.1)
20.50	10.25	(2.2)	2.50	(4.2)	0.64	(6.2)
41.00	20.50	(2.3)	5.10	(4.3)	1.25	(6.3)

<sup>a</sup> Le numéro de la tâche exprimé en fonction de l'indice de difficulté (unité) et de l'ordre croissant des deux autres paramètres (décimal).

La tâche de frappe exécutée seule constituait la condition témoin. Cette même tâche de frappe réalisée en simultanéité avec la tâche secondaire constituait la condition expérimentale.

#### Tâche secondaire

La tâche secondaire consistait à répondre oralement "oui" à un signal auditif de 2000 hertz et d'une durée de 50 ms. Ce temps de réaction simple constituait la variable dépendante. Dans les essais impliquant le temps de réaction, six signaux sonores étaient envoyés, trois durant les phases abductives du mouvement et trois durant les phases adductives. Durant chaque phase du mouvement, l'émission d'un signal sonore survenait à 50, 370 ou 690 ms après le clignotement de la lumière. L'intervalle entre deux signaux sonores était d'au moins deux secondes. Le clignotement des lumières était toujours présent et ce, même dans la réalisation de la tâche secondaire seule qui était la condition témoin. L'émission des signaux sonores pouvait avoir lieu entre le 14<sup>e</sup> et le 53<sup>e</sup> clignotement des lumières.

#### Plan expérimental

Les sujets devaient accomplir trois séances d'expérimentation en autant de jours consécutifs. Pour chacune des neuf tâches, les sujets réalisaient la tâche primaire seule, la tâche secondaire seule et les deux tâches en simultanéité. L'ensemble de la série des neuf tâches formait un bloc expérimental qui était répété deux fois dans une séance. Du point de vue de l'analyse principale des temps de réaction, le plan



expérimental à mesures répétées impliquait les facteurs suivants: 16 sujets, 3 niveaux de difficulté, 3 tâches équivalentes<sup>a</sup> par niveau de difficulté, 2 conditions, 2 orientations et 3 positions. Les niveaux de difficulté référaient à 2, 4 et 6 bits. Les conditions identifiaient les conditions expérimentale et témoin tandis que les orientations concernaient l'abduction et l'adduction du mouvement. Les positions faisaient appel aux trois moments d'émission du signal sonore, soit 50, 370 et 690 ms après un clignotement. L'ordre de présentation des tâches, des conditions et des positions était complètement aléatoire.

La première séance fut considérée comme une séance d'entraînement des sujets. Les données de cette séance ne furent donc pas analysées. Seules les données des deux dernières séances ont été retenues pour fins d'analyse. Les séances ne constituaient pas un facteur d'analyse puisque, pour chaque sujet, les valeurs médianes ont été calculées sur la base des deux séances.

#### Appareillage

Un socle avait été construit de façon à permettre la mise en place et le retrait aisés des différentes paires de cibles qui avaient, pour longueur commune, 15 cm. Un stylet métallique tenu à la façon d'un crayon servait à frapper les cibles. La tenue identique du stylet pour tous les sujets était assurée grâce à une marque indiquant l'endroit d'appui du pouce.

Au fond, immédiatement derrière le socle et verticalement, était

---

<sup>a</sup> Terme désignant les tâches égales entre elles par l'indice de difficulté de Fitts, d'où l'identification du facteur équivalence de tâche.

placée une boîte blanche percée de deux fenêtres hautes de 12 cm et larges de 32 cm. Ces deux fenêtres correspondaient à chacune des cibles gauche et droite et laissaient diffuser la lumière émise alternativement par deux lampes stroboscopiques (catégorie no. 21536). La durée de l'allumage de ces lampes était de l'ordre de 8 microsecondes. Ces lampes étaient dissimulées dans la boîte blanche insonorisée afin d'éliminer complètement le bruit accompagnant l'allumage.

Le sujet portait une paire d'écouteurs lui permettant de recevoir le signal sonore émis à partir d'un générateur de son. Un laryngophone captait la réponse "oui" du sujet. Un amplificateur Sony (TC-230) amplifiait cette réponse et en témoignait sur un cadran voltmètre. L'expérimentateur pouvait donc contrôler à chaque occasion si la réponse avait été bel et bien audible dans le système.

Un tableau composé de trois lumières-témoins indiquait la condition expérimentale à accomplir. L'une des lumières référait à la tâche primaire et une autre à la tâche secondaire. S'il fallait exécuter la condition de simultanéité, les deux lumières étaient alors allumées. La troisième lumière indiquait l'arrêt et le rejet de l'essai en cours. Le clignotement alternatif des trois lumières-témoins rappelait à l'expérimentateur de changer les cibles pour la tâche suivante.

Un chronomètre affichait le numéro de la tâche correspondant aux cibles qu'il fallait mettre sur le socle. Durant le déroulement de l'essai, ce chronomètre additionnait les erreurs de frappe qui étaient

faites par le sujet. Un deuxième chronomètre témoignait du nombre total de frappes réussies sur les cibles puis exprimait, à la fin de l'essai, le temps moyen des six temps de réaction quand il s'agissait d'un essai impliquant la tâche secondaire. Le sujet pouvait donc constater rétroactivement, après chaque essai, le résultat de ses performances dans la tâche primaire comme dans la tâche secondaire.

Une clé-morse servait à déclencher le départ de l'essai. Cette même clé provoquait l'arrêt et le rejet de l'essai en cours si elle était pressée à nouveau une fois l'essai commencé. Dans un tel cas, l'essai allait être recommencé.

L'expérimentation se déroulait dans une pièce éclairée par une seule lampe de 25 watts. Cette lampe, située au plafond juste au-dessus du socle, garantissait l'excellente perception des cibles de cuivre.

#### Fonctions de l'ordinateur

La totalité de l'expérience était contrôlée en temps réel par un ordinateur interdata 8/16. L'ordinateur remplissait trois fonctions principales. La première fonction consistait à gérer le déroulement de l'expérience par la présentation aléatoire des tâches et des conditions à exécuter. La seconde fonction était d'indiquer le rythme à suivre dans la tâche primaire par l'allumage des lumières stroboscopiques et de mesurer le délai temporel du contact de la cible par rapport à cet allumage. Enfin, la troisième fonction concernait la tâche secondaire. Dans ce cas, il s'agissait de contrôler le générateur de son et

de prendre la mesure du temps de réaction du sujet en réponse à ce signal.

Dans le déroulement des séances, la procédure aléatoire permettait le contrebalancement complet (inter-séances et inter-sujets) de l'ordre d'exécution des tâches ainsi que des conditions. En effet, la procédure aléatoire intégrait, dans sa formulation, le numéro de la séance plus les trois premiers caractères du nom du sujet. Lorsque le sujet échouait dans un essai, le moment de la reprise d'un tel essai était aussi déterminé aléatoirement parmi tous les essais qui restaient à faire pour une tâche donnée. Les résultats mémorisés sur fichier-disque spécifiaient la tâche et la condition et identifiaient les essais ratés.

Dans la tâche primaire, la première variable contrôlée était l'allumage alternatif des lumières à toutes les 740 ms et ce, durant toute la durée de l'essai de 40 secondes. Puis, à partir de la 15<sup>e</sup> frappe, l'ordinateur était sensibilisé aux frappes durant 100 ms avant et 100 ms après l'allumage de la lumière correspondante. C'était là la deuxième variable contrôlée. Cette tâche primaire comportait aussi trois variables dépendantes. Le nombre d'erreurs de frappe sur chacune des cibles constituait la première variable dépendante. Les deux autres variables dépendantes et complémentaires de la première étaient l'erreur algébrique temporelle et l'erreur quadratique temporelle moyenne dans la frappe des cibles. Une frappe précédant l'allumage de la lumière prenait une valeur algébriquement négative; la frappe survenant après

l'allumage prenait une valeur positive. Ce calcul des écarts temporels de frappe impliquait toutes les frappes réussies à l'intérieur du temps requis de 100 ms avant ou après le clignotement de la lumière. Ces données étaient précisées au millième de seconde près.

La tâche secondaire comportait une variable contrôlée et une variable dépendante: l'assignation temporelle des moments d'apparition du signal sonore et le temps de réaction comme réponse à ce signal. Dans un essai de 40 secondes, 19 moments temporels différents correspondaient à chacune des six positions du signal sonore: trois positions pour le mouvement en abduction et trois pour le mouvement en adduction. Au total, 114 moments temporels étaient identifiés dans l'essai (tableau 2, annexe a). Pour chaque position, un moment temporel était choisi aléatoirement. Les six moments temporels ainsi choisis devaient être distants les uns des autres par au moins deux secondes. Dans le cas où cette contrainte de l'intervalle intersignal n'était pas respectée, l'ensemble des six moments était rejeté et le choix aléatoire s'exerçait à nouveau. L'ordre d'apparition des six signaux sonores dans l'essai était assujéti à l'ordre chronologique des moments temporels choisis. Les moments temporels de l'apparition des signaux sonores de même que les temps de réaction associés à chacun des signaux étaient mémorisés sur fichier-disque. Enfin, ces deux variables de la tâche secondaire étaient précisées au millième de seconde près.

Dans le cas des deux tâches exécutées en simultanéité, une autre variable dépendante de la tâche primaire était spécifiée. Pour chaque signal sonore, la performance temporelle (l'écart temporel ayant servi pour calculer l'erreur algébrique temporelle et l'erreur quadratique temporelle moyenne) de trois frappes était mémorisée. Il s'agissait de la frappe précédant immédiatement le signal ainsi que des deux autres frappes subséquentes. L'enregistrement de ces trois données était précisé au centième de seconde près. Si une frappe avait été ratée, elle était aussi enregistrée comme telle. Ainsi se trouvaient décrites les performances exactes des deux tâches lorsqu'elles étaient exécutées simultanément (tableau 3, annexe a).

### Procédure

Lors de la première séance, l'expérimentateur expliqua verbalement et démontra de quelle façon il fallait accomplir les différentes conditions de réalisation des tâches. Le sujet apprit à lire les différentes informations données par les divers appareils.

Pour le sujet, la consigne fondamentale était avant tout d'exécuter la tâche primaire en synchronisation avec le clignotement des lumières. Pour être bonne, la frappe devait coïncider avec l'allumage. Lorsqu'il fallait, en même temps, répondre "oui" le plus rapidement possible au signal sonore, il ne devait pas affaiblir sa performance dans la tâche primaire. Les cibles devaient être touchées en plein centre par un mouvement impliquant seulement la main et le bras. Le tronc et les

épaules ne participaient pas au mouvement. La main ne devait pas non plus s'appuyer sur la cible lors de la frappe avec le stylet. Pour l'exécution de la tâche secondaire seule, l'attitude était de repos tout en maintenant le stylet et la main en appui au centre du socle.

Une fois les explications comprises, le sujet s'assoyait confortablement vis-à-vis du centre du socle installé sur une table (figure 1). Il maintenait une attitude légèrement penchée vers l'avant et tenait sa main libre sur la cuisse. Pour se familiariser avec le rythme d'exécution des tâches, le sujet accomplissait deux fois les trois conditions d'une tâche différente de celles contenues dans l'expérience quant aux paramètres de largeur des cibles et de distance entre celles-ci. Ces essais de mise en rythme servaient en même temps à faire les vérifications d'usage de l'ensemble de l'appareillage. Une fois ces détails accomplis, la séance expérimentale débutait.

Au départ d'un essai impliquant la tâche primaire, le stylet était en contact avec le centre de la cible gauche. Pour les deux filles et les quatre garçons gauchers, le premier mouvement en était donc un d'adduction. C'était le contraire pour les dix autres sujets droitiers. Pour amorcer le début de l'essai, l'expérimentateur disait "prêt?"; le sujet répétait "prêt!" lorsqu'il était prêt et, à ce moment même l'expérimentateur appuyait sur la clé-morse pour démarrer l'essai. Environ une seconde s'écoulait puis le clignotement des lumières débutait.



Figure 1. Illustration du montage expérimental.



Le sujet ignorait le moment d'apparition des signaux sonores lorsque la tâche secondaire était impliquée dans un essai. Il ignorait aussi à partir de quelle frappe le décompte des erreurs de frappe commençait. Il était cependant informé que les quelques premières frappes ne faisaient pas strictement partie de l'essai mais avaient pour but de favoriser l'excellente synchronisation. Le sujet avait reçu comme consigne que seule la frappe survenant en synchronisation parfaite avec la lumière était bonne. Le sujet ignorait donc que la frappe accusant un léger décalage temporel ( $\pm 100$  ms maximum) par rapport au clignotement de la lumière était quand même bonne. La non-divulgateion, au sujet, de ce décalage temporel permis avait pour but d'inciter le sujet à une performance parfaite dans la réalisation de la tâche primaire. De plus, le sujet devait s'efforcer de réussir la tâche primaire du premier coup et sans se prévaloir, si possible, des quatre erreurs tolérées et des deux essais de reprise permis dans le cas d'échec.

Chaque session groupant deux blocs expérimentaux durait un peu plus d'une heure. La durée d'un essai était de 40 secondes; l'intervalle inter-essais de même que l'intervalle inter-conditions duraient 15 secondes. L'intervalle inter-tâches pour changer les cibles totalisait 30 secondes. Une période de cinq minutes de repos était accordée entre les deux blocs.

L'expérimentateur pouvait en tout temps être informé du déroulement des essais via les paramètres identifiés aux différents appareils.

Le sujet constatait ces informations en se tournant la tête vers les appareils avant et après les essais. Il avait donc une rétro-action de ses performances l'incitant à toujours tendre vers l'amélioration dans l'exécution des tâches.

## CHAPITRE IV

### Résultats

#### Présentation générale

Le contrôle de l'expérience par un ordinateur a rendu possible la cueillette et la mise en mémoire de données très précises. De ce niveau de précision est résultée une quantification rigoureuse des nombreuses variables dépendantes et indépendantes. La présentation des résultats a donc été divisée en fonction du contrôle des variables indépendantes et de la performance dans les tâches primaire et secondaire.

Dans le contrôle de la tâche primaire, il fallait d'abord analyser le taux de réussite des différentes tâches compte tenu des trois essais permis. Il importait aussi de préciser le niveau de réussite sous l'angle des erreurs de frappe tolérées (maximum 4 ou 10%). Ce deuxième indicateur du contrôle de la tâche primaire devait être analysé seulement en fonction du premier essai réussi. En effet, lorsque ce premier essai avait été raté, il était classé dans la catégorie des essais ayant totalisé cinq erreurs et plus. A partir de ces données observées, les modèles probabilistes furent appliqués afin d'estimer la probabilité théorique de réussir les tâches. Le premier cas se conformait au rationnel de la loi géométrique tandis que le deuxième cas relevait de la

loi binômiale. Enfin, du point de vue de la performance réalisée dans la tâche primaire, des analyses de la variance avec facteurs complètement répétés furent effectuées sur les erreurs de frappe, l'erreur quadratique temporelle moyenne et l'erreur algébrique temporelle.

Le contrôle de la tâche secondaire a exigé une triple analyse. D'abord, un test G d'indépendance (Sokal et Rohlf, 1969) avec deux facteurs (19 moments temporels x 6 positions) fut calculé sur les fréquences d'utilisation des 114 moments temporels ayant servi pour l'émission d'un signal sonore. Ainsi se trouvait vérifié à postériori si la procédure aléatoire avait conduit à faire appel également à chacun des 114 moments temporels. La seconde analyse considérait l'effet de l'ordre d'apparition du signal sonore sur le temps de réaction correspondant. La médiane des temps de réaction regroupés selon leur ordre d'exécution jetait la lumière sur ce phénomène à vérifier. Enfin, la troisième analyse considérait les effets des différents intervalles temporels sur les temps de réaction. Les intervalles temporels analysés furent l'intervalle début-d'essai-premier-signal-sonore, l'intervalle inter-signal et l'intervalle réponse-signal. Ces intervalles temporels furent soumis à des corrélations de Pearson. Enfin, la performance de la tâche secondaire fut étudiée dans une analyse de la variance avec facteurs complètement répétés.

Les analyses portèrent sur les données des deux dernières séances, la première séance ayant servi à la familiarisation et à l'entraînement

aux diverses tâches, La médiane fut toujours retenue comme mesure de tendance centrale s'appuyant sur au moins quatre données (2 blocs x 2 séances). Dans l'analyse de la variance des erreurs de frappe, la médiane pondérée (Laurencelle, Note 7) fut employée puisque cette médiane tenait compte de la fréquence d'apparition d'une même valeur.

#### Contrôle de la tâche primaire

Réussite des tâches. La première considération a posteriori du contrôle de la difficulté de la tâche primaire référait aux résultats effectifs puis aux probabilités théoriques de réussir les différentes tâches en trois essais permis. Dans la très grande majorité des cas, les tâches ont été réussies dès le premier essai. Pour les conditions témoin et expérimentale regroupées, les tâches ont été réussies dès le premier essai avec un taux de .90. Pour la condition témoin, le taux observé de la réussite au premier essai atteignait .99 et .96 à deux et quatre bits et .79 à six bits (tableau 4, annexe a). La condition expérimentale affichait des valeurs semblables, soit .94, .93 et .77. La valeur inférieure constatée à six bits en regard de deux et quatre bits est due à l'une des trois tâches où était exigée la manipulation de la plus petite cible. Dans cette tâche, le taux de réussite au premier essai dans les conditions témoin et expérimentale était respectivement .56 et .50.

La figure 2 exprime le nombre de premiers essais réussis en fonction des tâches ordonnées selon la largeur des cibles. Une même largeur de cibles utilisée à deux indices différents de difficulté a donné des

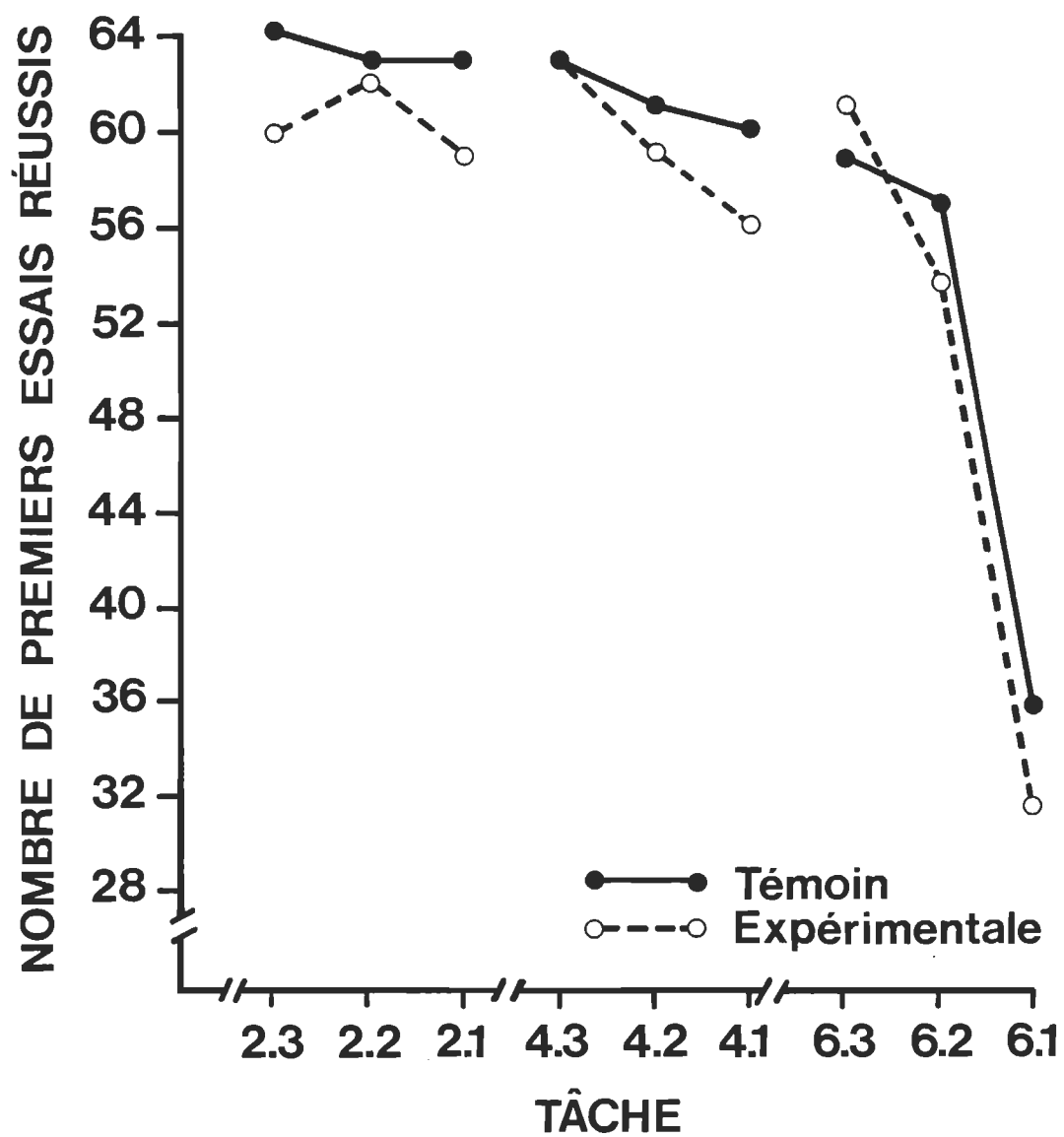


Figure 2. Nombre de premiers essais réussis pour les 64 essais/tâche (16 sujets x 4 séances) dans chacune des tâches pour les conditions témoin et expérimentale.

résultats identiques dans la condition témoin. Ainsi, les tâches 2.1 et 4.3 (cible de 5.10 cm) ont atteint la valeur commune de 63 premiers essais réussis sur un total de 64 essais. Les tâches 4.1 et 6.3 (cible de 1.25 cm) ont révélé des valeurs respectives de 60 et 59 premiers essais réussis. Dans la condition expérimentale, ces valeurs augmentaient quelque peu avec l'augmentation de la difficulté. La tâche 2.1 obtenait 59 premiers essais réussis comparativement à 63 pour la tâche 4.3. La tâche 4.1 affichait 56 premiers essais réussis alors que la tâche 6.3 en affichait 61.

A l'exception de la tâche 6.1 requérant la plus petite cible, le nombre de premiers essais réussis ne diminuait que très faiblement avec la diminution de la largeur de cible. Pour ces huit tâches, l'écart n'était que de 6 essais entre les valeurs minimum et maximum dans la condition témoin. Cet écart était de 9 essais dans la condition expérimentale. Enfin, les deux conditions différaient très peu entre elles: la condition témoin n'était supérieure à la condition expérimentale que de 2.23 essais en moyenne.

En considérant les trois essais permis pour en arriver à réussir les tâches, toutes les tâches à deux et quatre bits ont été finalement réussies. A six bits, un très faible taux d'échecs a été enregistré: ce taux était de l'ordre de .02.

Pour chaque tâche, l'estimation de la probabilité théorique (pt) de réussir la tâche a été établie conformément au modèle de la loi géométrique tronquée (annexe b) exprimée dans la formulation particulière:

$$p = (1 - p) \times p$$

où  $x$  représente  $n-1$  essais nécessaires pour réussir la tâche. Les différentes valeurs que pouvait prendre  $p$  furent manipulées systématiquement par itérations successives. La valeur de  $p$  qui, le mieux, rendait compte de la distribution entière des essais réussis en un, deux, trois et plus de trois essais pour une tâche donnée fut retenue comme étant la probabilité théorique  $p_t$  correspondant à cette tâche. La probabilité théorique  $p_t$  coïncidait alors avec la valeur de  $p$  permettant d'obtenir le plus petit carré moyen (CM) des écarts entre les valeurs des distributions théorique et observée. C'était là le critère d'acceptation de  $p$  comme probabilité théorique  $p_t$ .

Les probabilités théoriques (tableau 4, annexe a) de réussir chacune des tâches, peu importe à quel essai, sont, à toutes fins pratiques, égales aux taux observés. Ainsi, la probabilité théorique de réussir les tâches au premier essai à deux, quatre et six bits sont respectivement .99, .96 et .79 dans la condition témoin et .95, .93 et .76 dans la condition expérimentale. Pour les deux conditions regroupées, la probabilité moyenne de réussir au premier essai atteint la valeur de .90 identique aux taux observés. Les figures 3 et 4 expriment, pour chacune des conditions, les courbes presque superposées des probabilités théoriques et des taux observés. Les taux observés ont donc été conformes à un modèle probabiliste connu.

Les erreurs de frappe. La deuxième considération a posteriori du



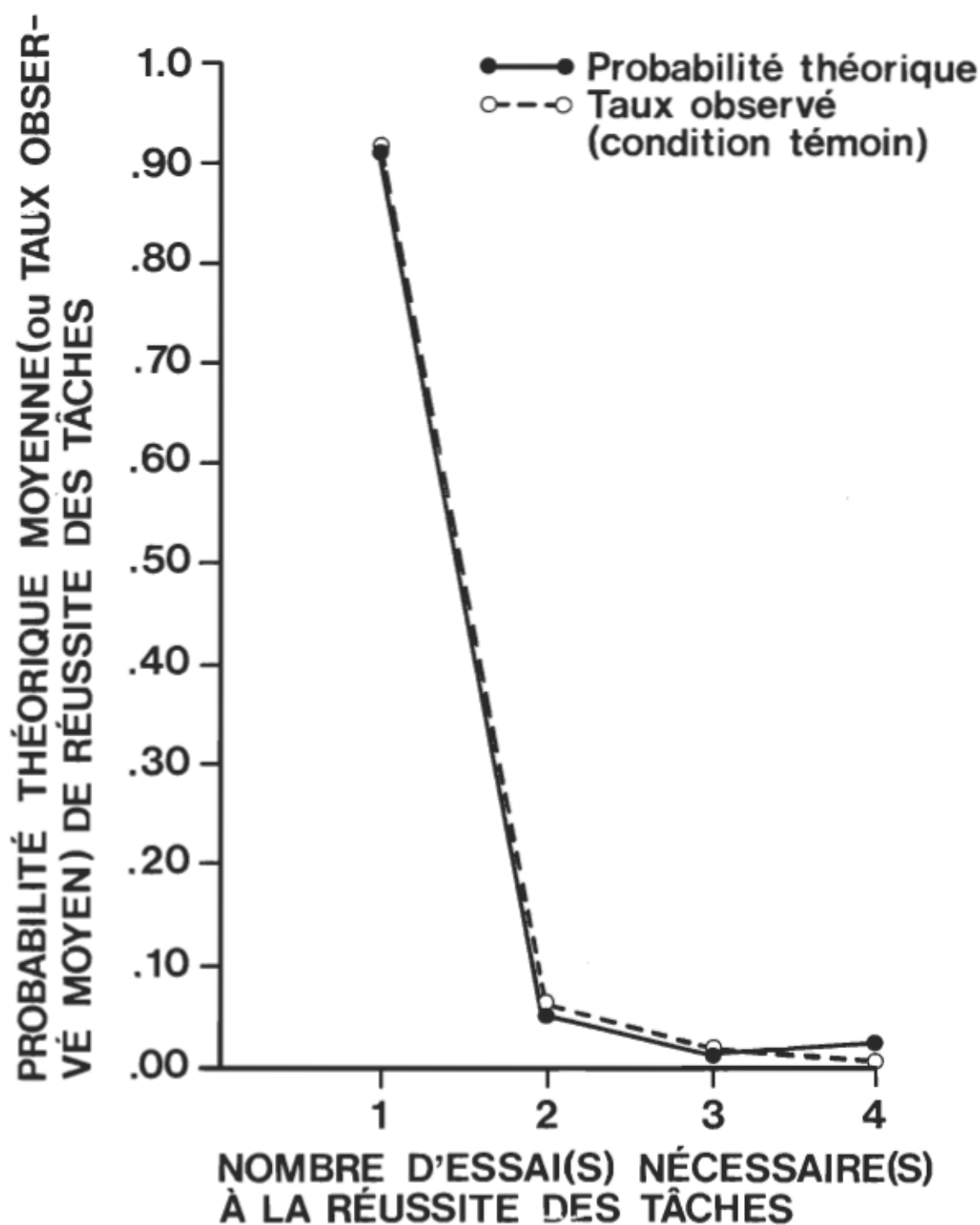


Figure 3. Probabilité théorique moyenne et taux observé moyen de réussite des tâches en 1, 2, 3 ou 4(échec) essais pour l'ensemble des 9 tâches de frappe dans la condition témoin.

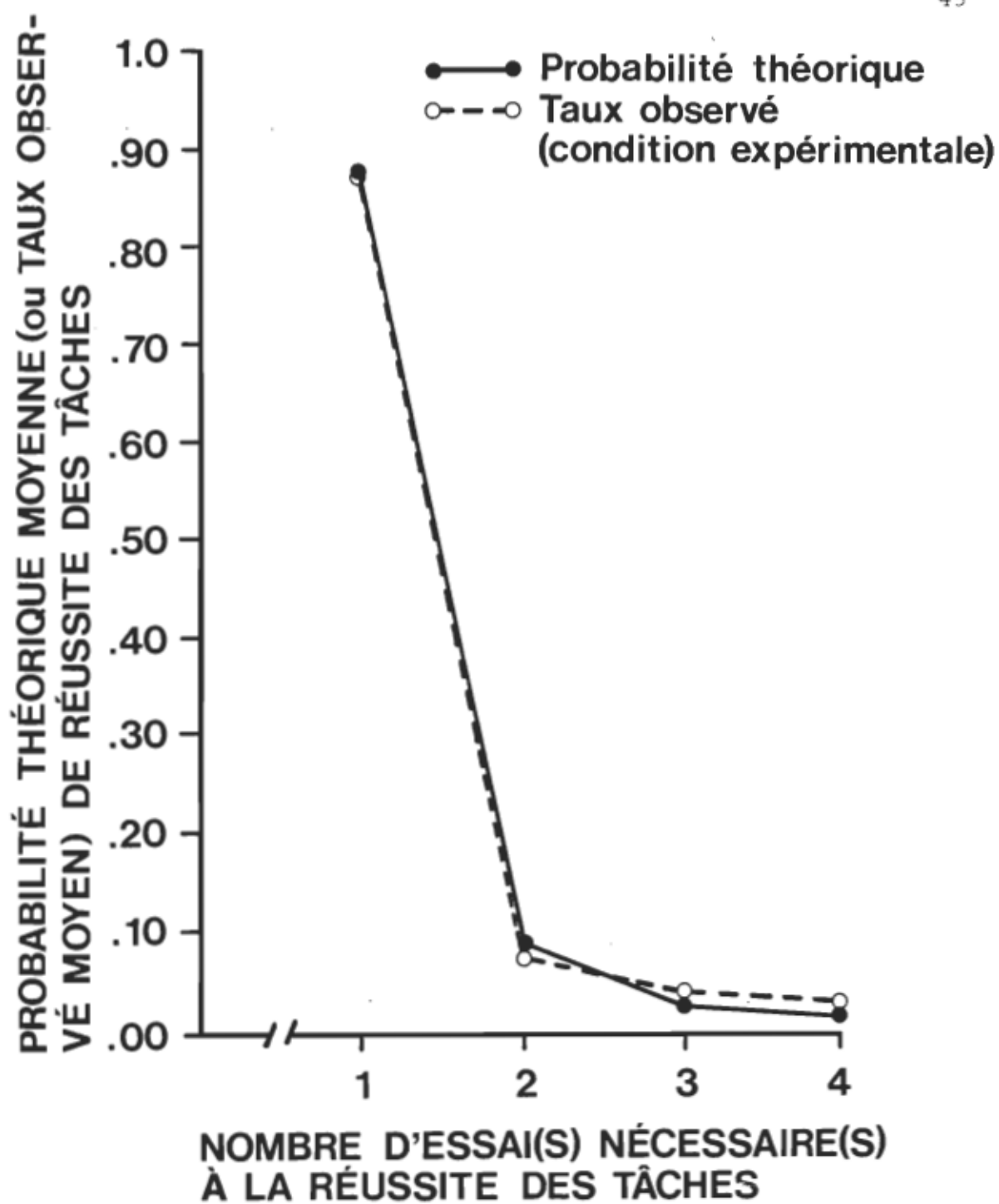


Figure 4. Probabilité théorique moyenne et taux observé moyen de réussite des tâches en 1, 2, 3 ou 4 (échec) essais pour l'ensemble des 9 tâches de frappe dans la condition expérimentale.

contrôle de la difficulté des tâches portait sur le nombre d'erreurs de frappe dans les essais. Pour un tel contrôle, seul le premier essai était considéré. En effet, l'essai manqué était classé comme tel, c'est-à-dire qu'il entrait dans la catégorie des essais accomplis avec une accumulation d'au moins cinq erreurs. Les essais furent donc classés selon les six catégories d'erreurs, soit de zéro à cinq erreurs. Concernant la condition témoin, les taux de réussite des neuf tâches regroupées en fonction de zéro, un, deux, trois, quatre ou cinq erreurs et plus furent respectivement de .58, .19, .10, .03, .02 et .09. Concernant la condition expérimentale, et dans le même ordre, ces taux furent respectivement de .50, .20, .09, .06, .07 et .11. Pour chaque catégorie d'erreurs, le taux de réussite des tâches a été calculé en fonction du niveau de difficulté. Les taux observés (tableau 5, annexe a) des tâches réussies sans aucune erreur dans la condition témoin étaient respectivement .78, .65 et .31 pour deux, quatre et six bits. Dans la condition expérimentale ces valeurs atteignaient .63, .57 et .30. Pour un bit donné dans l'une et l'autre conditions, les taux observés de réussite des tâches sans aucune erreur diminuait toujours, bien qu'inégalement, avec la diminution de la largeur de cible (figure 5). Ce phénomène était encore plus apparent à six bits où les trois tâches obtenaient des valeurs de .52, .33 et .09 dans la condition témoin et des valeurs de .52, .28 et .11 dans la condition expérimentale. Dans ce cas, les valeurs obtenues les plus faibles coïncidaient avec la tâche 6.1 qui utilisait la plus

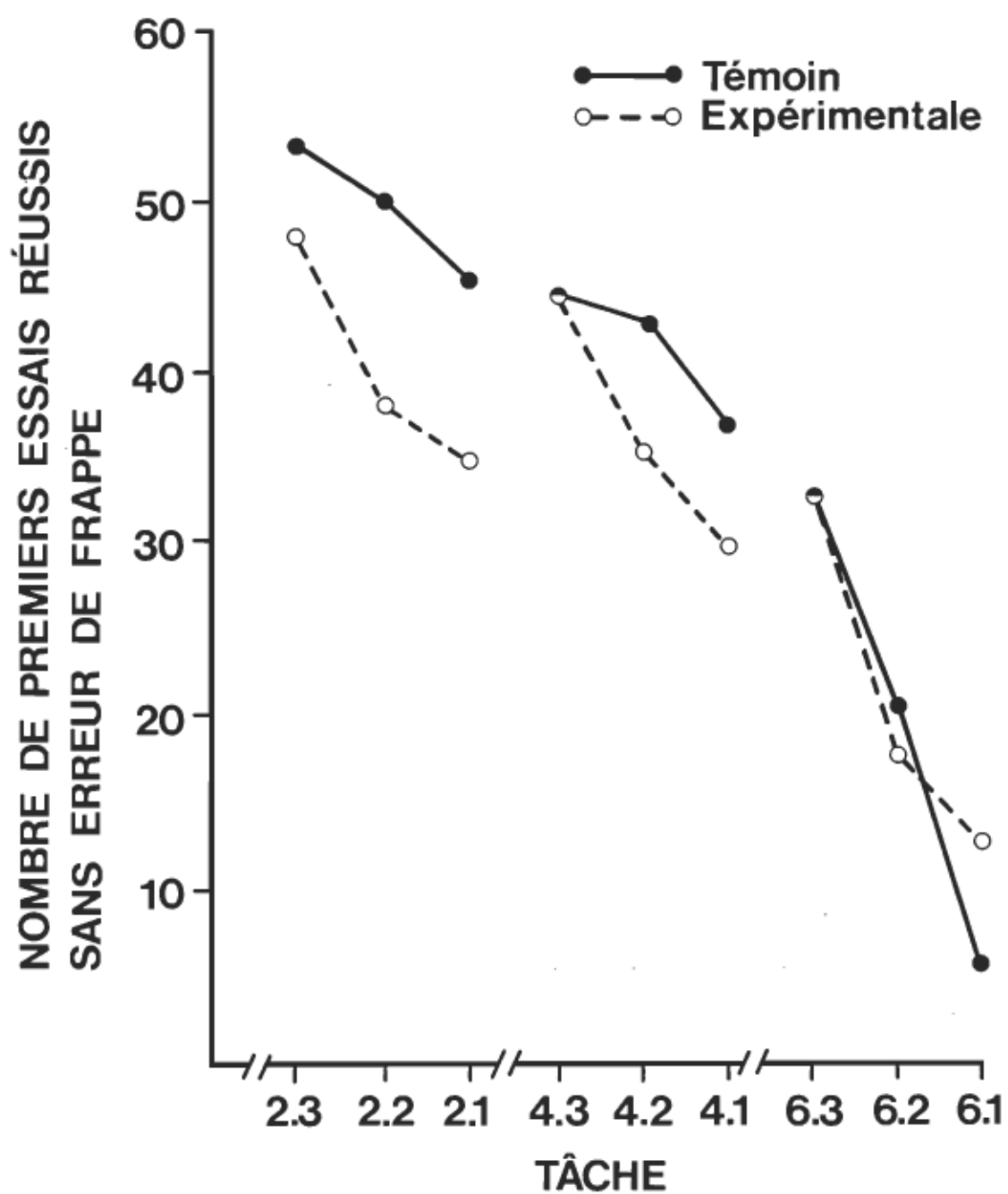


Figure 5. Nombre de premiers essais réussis sans aucune erreur de frappe pour les 64 essais/tâche (16 sujets x 4 séances) dans chacune des tâches dans les conditions témoin et expérimentale.

petite cible. Pour une même largeur de cibles, dans la condition témoin, ce nombre d'essais sans erreur fléchissait légèrement avec l'augmentation de l'indice de difficulté. Ainsi, les tâches 2.1 et 4.3 (cible de 5.10 cm) affichaient des valeurs respectives de 46 et 44 essais. Aux tâches 4.1 et 6.3 (cible de 1.25 cm) figuraient des valeurs respectives de 37 et 33 essais. Pour ces mêmes cibles, dans la condition expérimentale, ce nombre d'essais augmentait avec l'augmentation de l'indice de difficulté. Pour la première cible les chiffres étaient de l'ordre de 35 et 44 essais. Pour la deuxième cible, ces valeurs étaient plus rapprochées avec 30 et 33 essais.

En général, le nombre de premiers essais réussis sans erreur décroissait avec la diminution de la largeur des cibles (figure 5). La décroissance la plus forte correspondait aux tâches 6.1 et 6.2 requérant les deux plus petites cibles. Les différences oscillaient entre 11 et 15 essais d'une tâche à la suivante. Pour les sept autres tâches, la décroissance était en moyenne de 3.34 essais dans la condition témoin et le double dans la condition expérimentale, soit en moyenne 6.75 essais.

La probabilité théorique (pt) de réussir les frappes dans chacune des tâches fut estimée. Comme deux seuls résultats étaient possibles, soit le succès ou l'échec, tout en postulant que chaque frappe était un événement indépendant, le modèle probabiliste applicable était celui d'une distribution binômiale tronquée (annexe b). Pour chacune des tâches, la probabilité théorique (pt) de réussir une frappe a été estimée selon la

formulation générale:

$$p = \binom{n}{x} p^{n-x} (1-p)^x$$

où  $n$  représente le nombre de frappes dans l'essai et  $x$  le nombre d'erreurs de frappe. Pour chaque tâche, il fallait trouver la valeur  $p$  qui, le mieux, rendait compte de la distribution entière des essais réussis avec zéro, une, deux, trois, quatre et plus de quatre (essai raté) erreurs. Comme dans l'étude de la probabilité précédente, la valeur  $p$  correspondant à la valeur  $p_t$  fut trouvée par le même processus d'itérations successives avec le même critère du plus petit carré moyen (CM) des écarts entre les valeurs des distributions théorique et observée.

La probabilité théorique (tableau 6, annexe a) de réussir une frappe fut égale dans huit des neuf tâches pour l'une et l'autre conditions avec des valeurs oscillant entre .97 et .99. L'exception concernait la tâche à six bits qui correspondait à la plus petite largeur de cible parmi toutes les cibles. Dans un tel cas, la probabilité de réussir une frappe était de .90 dans la condition témoin et de .89 dans la condition expérimentale. En vertu de ces probabilités théoriques de réussir une frappe, les taux théoriques moyens d'essais réussis (tableau 6, annexe a) avec zéro, une, deux, trois, quatre et plus de quatre erreurs de frappes pour toutes les tâches regroupées furent respectivement de .59, .23, .07, .03, .03 et .05 dans la condition témoin. Dans la condition expérimentale, ces taux théoriques étaient respectivement de .52, .27, .09, .04, .03 et .05. En somme, ce modèle probabiliste connu a très bien

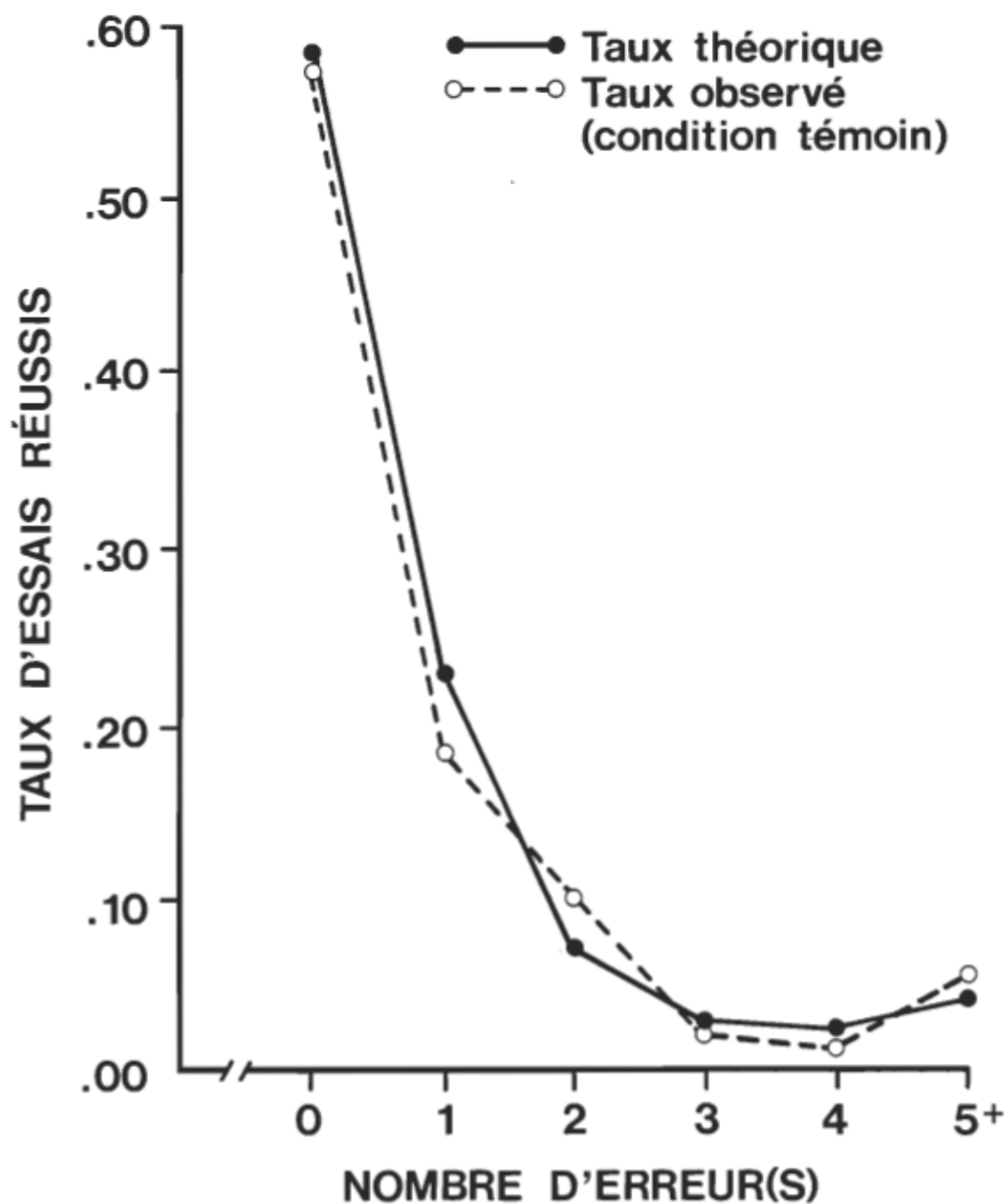


Figure 6. Taux théoriques et taux observés d'essais réussis dans les tâches de frappe de la condition témoin selon le nombre d'erreur (s) de frappe commise (s) dans l'essai en considérant seulement le premier essai (5+ indiquant ce premier essai raté).

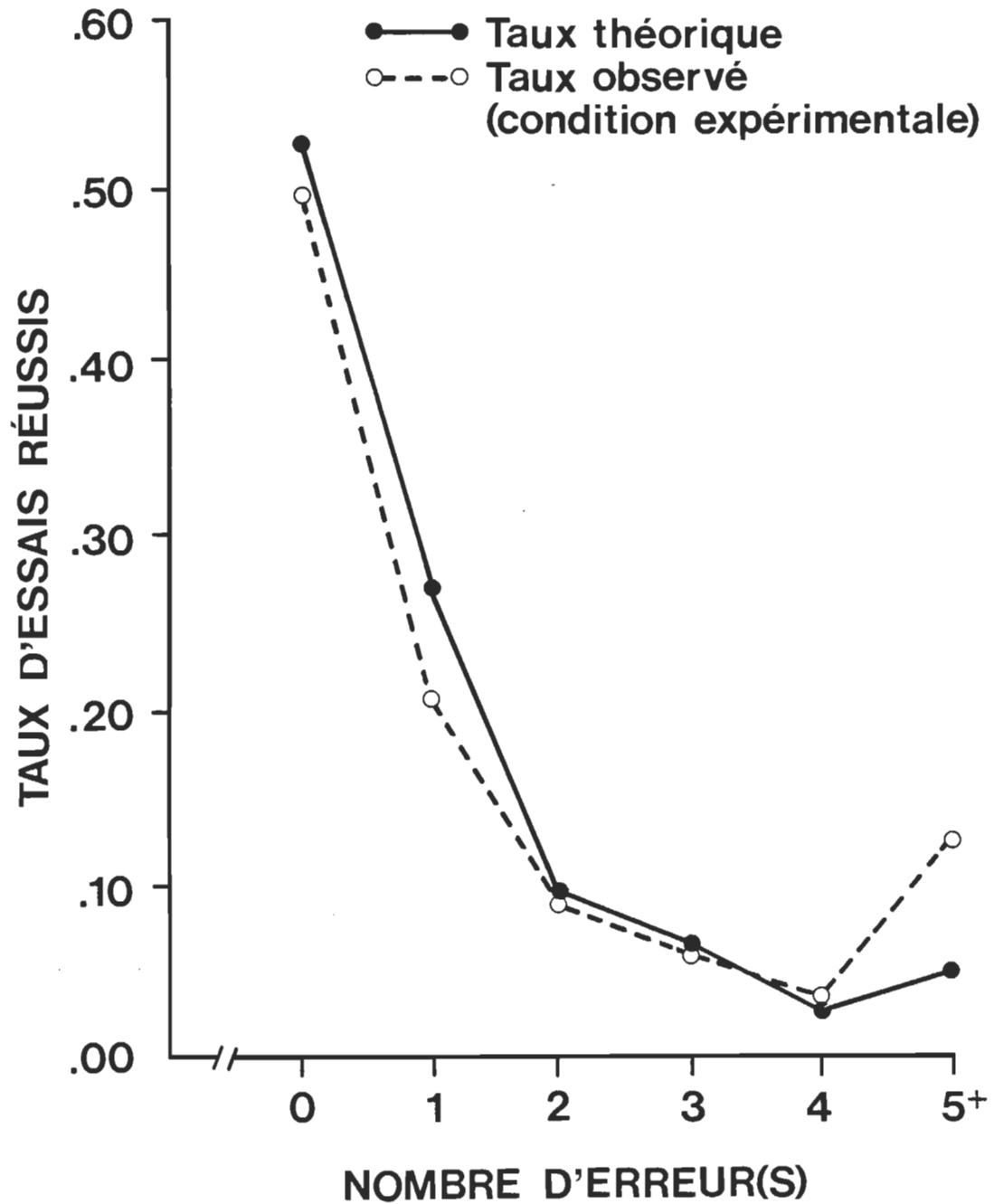


Figure 7. Taux théoriques et taux observés d'essais réussis dans les tâches de frappe de la condition expérimentale selon le nombre d'erreur (s) de frappe commise (s) dans l'essai en considérant seulement le premier essai (5+ indiquant ce premier essai raté).



décrit le comportement des taux observés comme les résumant les figures 6 et 7.

### Contrôle de la tâche secondaire

Moments temporels d'émission du signal sonore. Il convenait de vérifier si les procédures prévues pour le choix aléatoire des moments temporels avait donné les résultats escomptés. Les fréquences d'utilisation de chacun des 114 moments temporels pour l'envoi d'un signal sonore furent cumulées (tableau 7, annexe a). Les fréquences de la condition témoin oscillaient entre 16 et 55 ( $\bar{x}=30.26$ ,  $s=6.41$ ). Les fréquences de la condition expérimentale avaient obtenu des valeurs presque identiques avec des fréquences se situant entre 16 et 59 ( $\bar{x}=29.68$ ,  $s=6.34$ ). La moyenne et l'écart-type ont permis une comparaison de la distribution des fréquences entre les conditions témoin et expérimentale. Mais il fallait aussi pouvoir comparer les fréquences entre elles pour voir si la procédure aléatoire avait donné lieu à une égale utilisation de tous les moments temporels. Le test G d'indépendance (Sokal et Rohlf, 1969) a donc été effectué pour chacune des conditions témoin et expérimentale prises séparément en considérant deux facteurs, soit 19 moments temporels et 6 positions. Les résultats ont révélé que les fréquences n'étaient pas significativement différentes et ce, tant dans la condition témoin,  $G(90)=68.71$ ,  $p > .05$  que dans la condition expérimentale,  $G(90)=57.43$ ,  $p > .05$ .

Les médianes des temps de réaction correspondant à chacun des

114 moments temporels furent calculées. Dans la condition témoin, ces 114 médianes affichaient des valeurs s'étendant de 198.00 ms à 265.50 ms. Dans la condition expérimentale, ces médianes se situaient entre 302.00 ms et 412.50 ms. Les temps de réaction ont fluctué davantage dans la condition expérimentale comme le fait ressortir la figure 8.

Ordre numérique d'apparition du signal sonore. Dans chaque essai concerné par la tâche secondaire, six signaux sonores étaient envoyés. Tous les temps de réaction furent regroupés selon leur ordre numérique d'apparition du signal sonore, soit de un à six. La médiane de tous les temps de réaction correspondant au premier signal dans les essais fut extraite, de même que celles correspondant à chacun des cinq autres signaux. En moyenne, les temps de réaction de la condition expérimentale ont été plus longs de 110.60 ms comparativement à la condition témoin. Comme l'indique aussi la figure 9, dans les deux conditions, le temps de réaction de la première position numérique a été plus élevé que les temps de réaction des cinq autres positions. La différence moyenne entre les cinq derniers temps de réaction et le premier était de 18.80 ms dans la condition témoin et de 27.20 ms dans la condition expérimentale.

Effets d'intervalle. Les temps de réaction furent analysés à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson. Pour chaque corrélation, le second facteur était l'une des trois mesures de l'intervalle temporel du

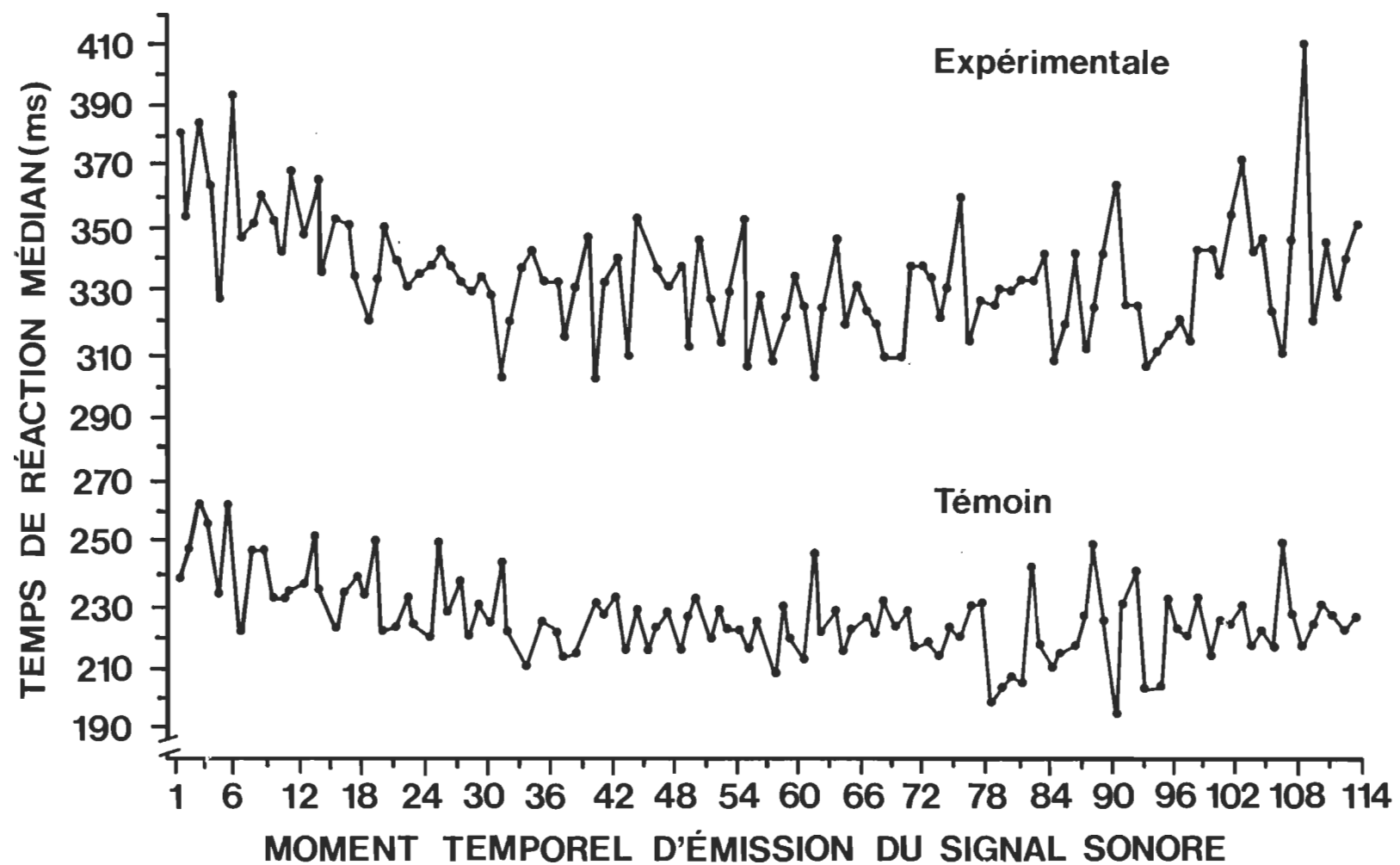


Figure 8. Temps de réaction médian (ms) pour chacun des 114 moments temporels alignés selon leur ordre chronologique d'apparition du signal sonore dans les essais pour les conditions témoin et expérimentale.

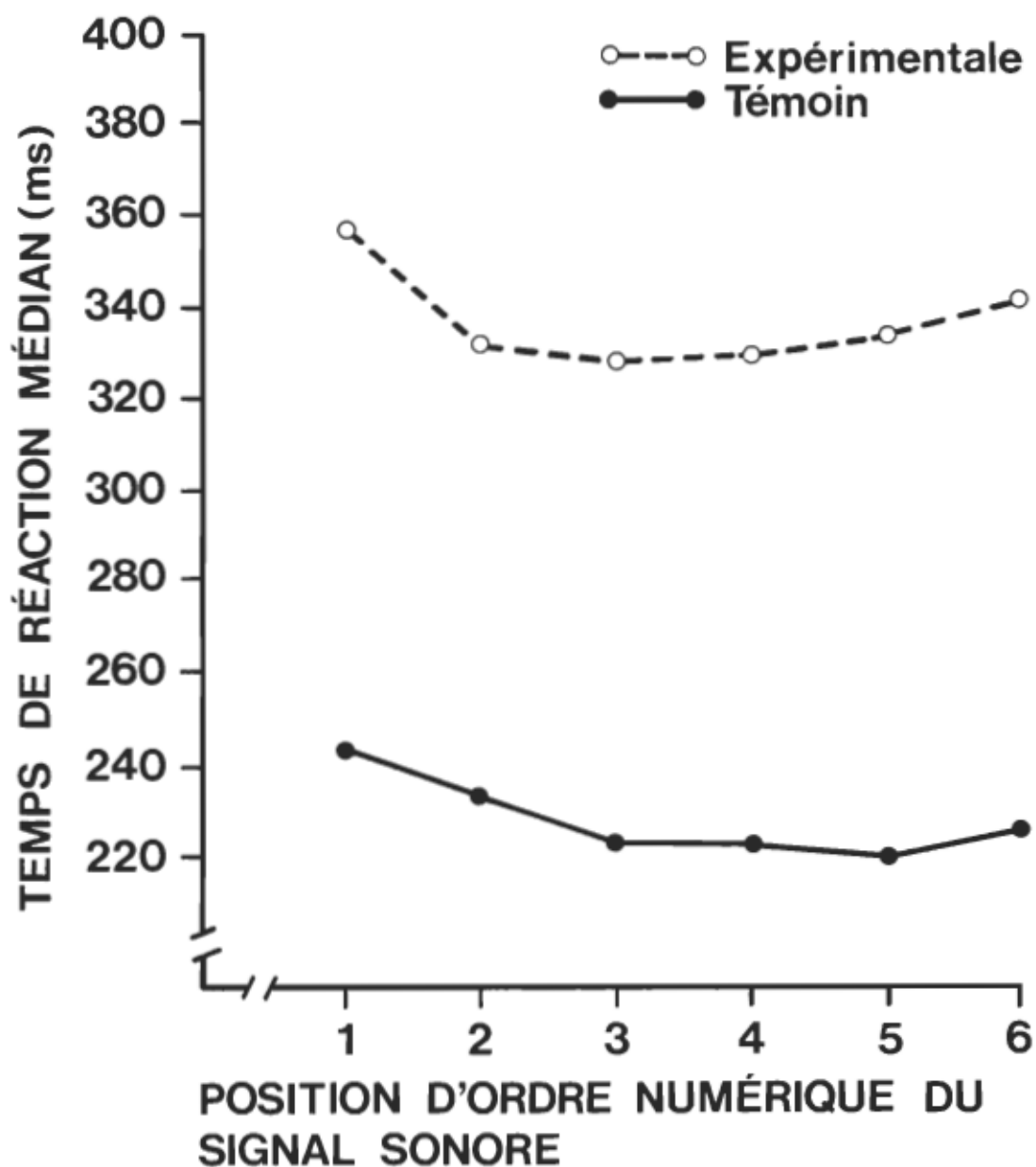


Figure 9. Temps de réaction médian pour chacune des 6 positions alignées selon l'ordre numérique d'apparition du signal sonore dans l'essai pour les conditions témoin et expérimentale.

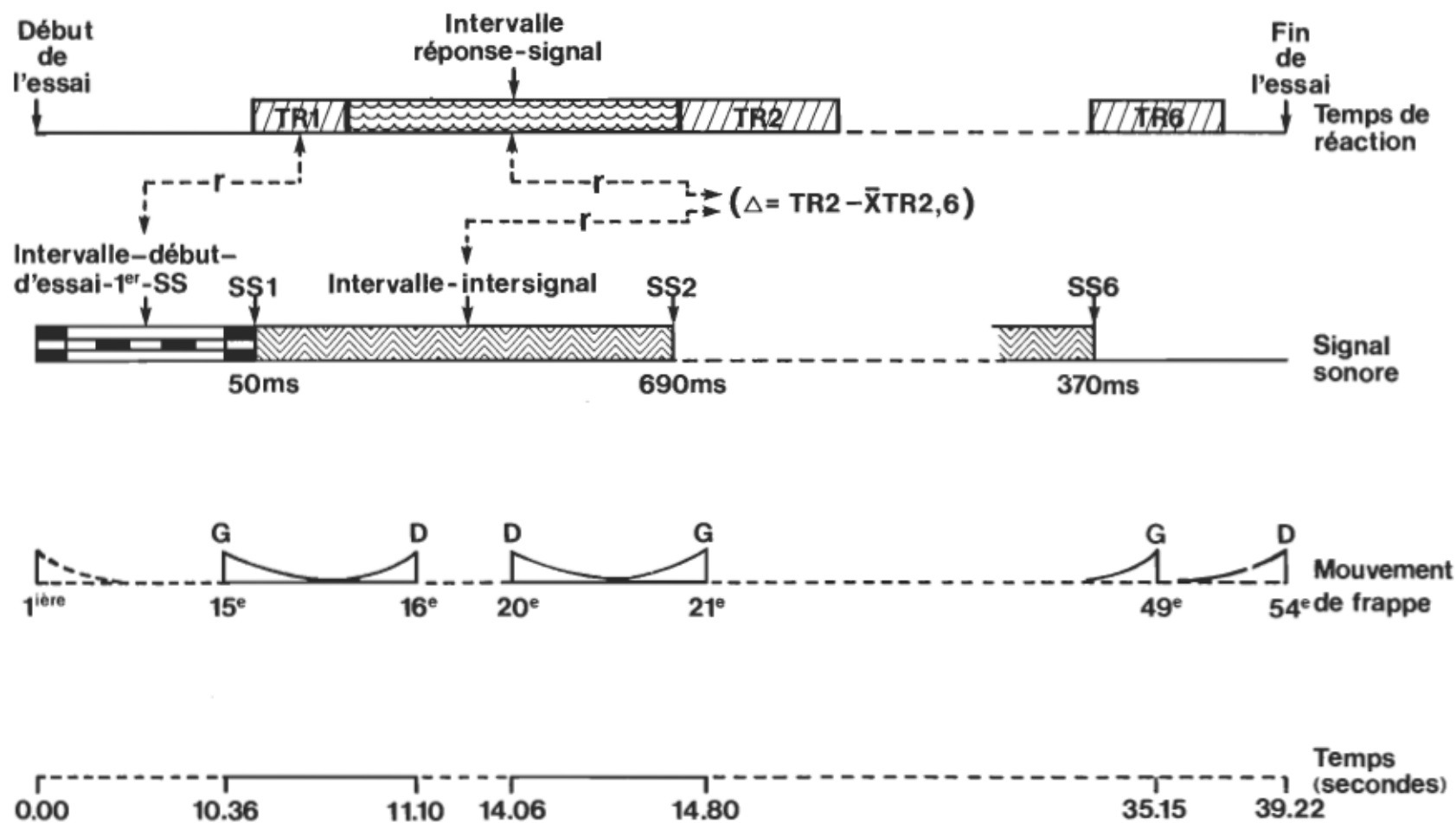


Figure 10. Schéma d'un essai illustrant la définition des 3 différentes mesures de l'intervalle temporel du signal sonore et l'identification des variables mises en corrélation pour les conditions témoin et expérimentale regroupées.

signal sonore (figure 10). A quelques données manquantes près, la première corrélation impliquait 1152 paires de données tandis que les deux autres en impliquaient 5760 chacune. L'expression graphique de ces coefficients de corrélation de Pearson fut obtenue directement sur écran cathodique. Ces corrélations regroupaient ensemble les conditions témoin et expérimentale.

La première corrélation fut effectuée entre le premier temps de réaction de l'essai et l'intervalle de temps écoulé depuis le début de l'essai jusqu'à l'émission du premier signal sonore. Il s'agissait de vérifier si la durée de cet intervalle pouvant varier entre 10.41 s et 21.83 s influençait ce premier temps de réaction. Le coefficient de corrélation obtenu fut négligeable ( $r = -0.07$ ).

Les deux autres corrélations ont permis d'analyser les effets d'intervalle sur chacun des cinq derniers temps de réaction de l'essai. La procédure statistique consistait d'abord à calculer dans chaque essai la moyenne de ces cinq temps de réaction. Puis, l'écart à cette moyenne de chaque temps de réaction était mis en corrélation avec l'intervalle inter-signal précédant ce temps de réaction. Le coefficient de corrélation obtenu fut pratiquement nul ( $r = -0.01$ ).

Enfin, ce même écart a été repris dans le calcul d'une autre corrélation. Cette fois-ci, l'intervalle choisi était l'intervalle réponse-signal précédant le temps de réaction. Encore là, la corrélation fut pratiquement nulle ( $r = -0.01$ ).

### Performance dans la tâche primaire

Erreurs de frappe. Chaque fois que le sujet ne frappait pas la cible en dedans de la période exigée de 200 ms, une erreur de frappe était enregistrée. Pour chacun des sujets, la médiane pondérée des erreurs de frappe fut extraite pour chacune des conditions témoin et expérimentale selon le facteur difficulté et le facteur équivalence de tâche. Le cinquième facteur distinguait l'orientation du mouvement en termes d'abduction et d'adduction du bras. Cette médiane pondérée fut transformée selon la formulation d'Anscombe (1948) en vue de l'analyse de la variance. L'erreur transformée ( $e'$ ) s'établissait donc comme suit:

$$e' = \sqrt{e + .375}.$$

L'analyse de la variance des erreurs de frappe (tableau 8, annexe a) a révélé plusieurs résultats significatifs. Parmi ceux-ci furent significatifs le facteur difficulté,  $F(2, 120) = 75.75$ ,  $p < .001$  et le facteur équivalence de tâche,  $F(6, 120) = 15.69$ ,  $p < .001$ . Le facteur orientation est apparu significatif,  $F(1, 15) = 8.83$ ,  $p < .01$  de même que l'interaction difficulté x orientation,  $F(2, 120) = 14.07$ ,  $p < .001$ . Cette interaction (figure 11) s'est manifestée seulement par une différence à six bits; les valeurs des deux autres niveaux de difficulté étaient semblables. Dans le cas de six bits, les sujets avaient commis près de deux fois plus d'erreurs en abduction qu'en adduction avec des résultats respectifs de .75 et .47 erreur en moyenne par essai.

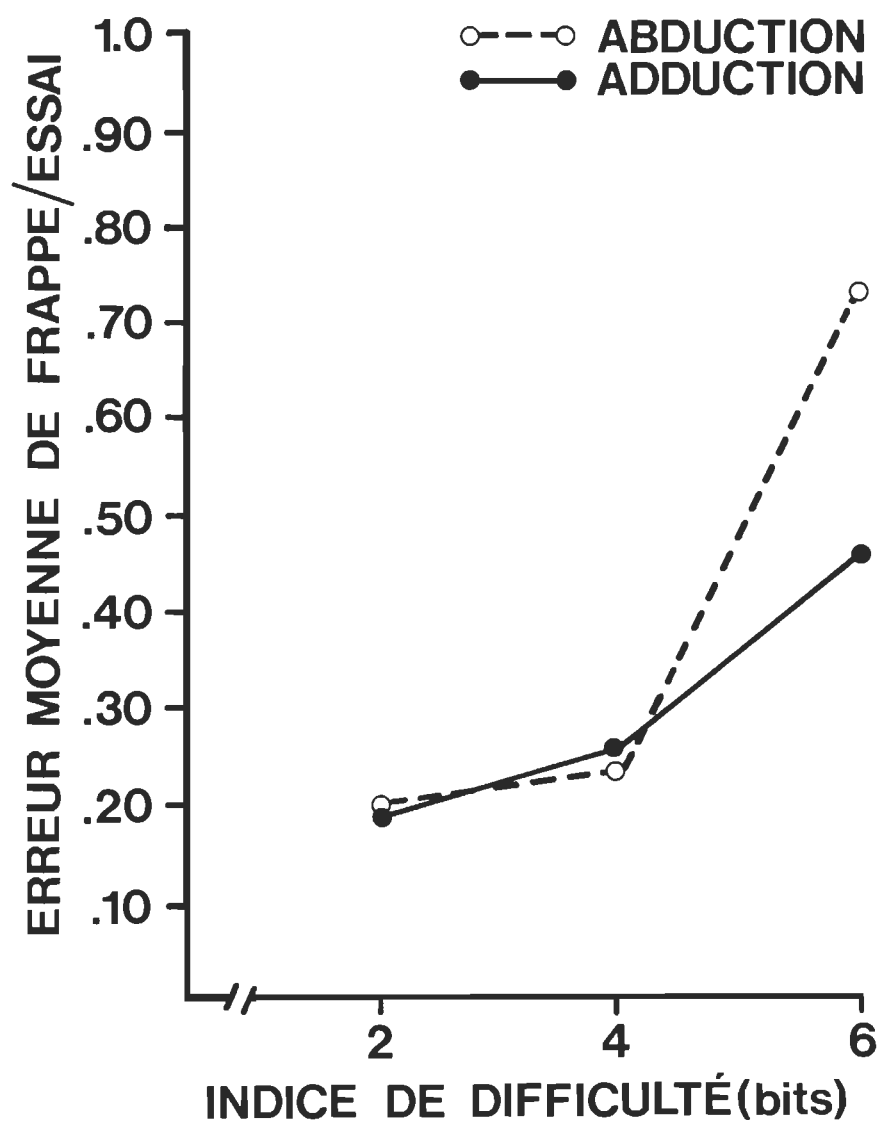


Figure 11. Erreur moyenne de frappe par essai en fonction de l'indice de difficulté (bits) et selon l'orientation du mouvement (abduction et adduction).



Le facteur condition n'a pas été significatif. Un test de Scheffé sur les neuf tâches,  $F(8, 120)$ ,  $p < .01$  révéla des valeurs significatives pour la difficulté à six bits en regard des deux autres niveaux de difficulté. A six bits, la tâche 6.1 intégrant la plus petite largeur de cibles était significativement différente des deux autres tâches (tableau 9, annexe a). Dans un tel cas, et comme l'indique la figure 12, pour les tâches 6.1, 6.2 et 6.3, la moyenne des erreurs de frappe par essai a été respectivement .97, .56 et .34. A l'intérieur de chaque niveau de difficulté, la moyenne des erreurs de frappe par essai a toujours augmenté en fonction de la diminution de la largeur de cible.

Erreur algébrique temporelle. En conservant les mêmes facteurs impliqués que dans l'analyse des erreurs de frappe, la performance dans la tâche primaire fut analysée sous l'angle de l'erreur algébrique temporelle. Cette erreur était négative lorsque la frappe survenait durant les 100 ms avant l'allumage de la lumière et positive dans le cas contraire. L'analyse de la variance (tableau 10, annexe a) a révélé significatif le facteur difficulté,  $F(2, 120) = 14.13$ ,  $p < .001$  et le facteur équivalence de tâche,  $F(6, 120) = 10.70$ ,  $p < .001$ . Pour le facteur difficulté, les valeurs moyennes étaient respectivement, dans l'ordre croissant du niveau de difficulté, -36.05, -38.73 et -29.88 ms (figure 13). L'interaction difficulté x orientation (figure 14) était aussi significative,  $F(2, 120) = 5.06$ ,  $p < .01$ . Un test de Scheffé sur les tâches et sur le niveau de difficulté fut effectué,  $F(8, 120)$ ,  $p < .01$ . Les différences furent significa-

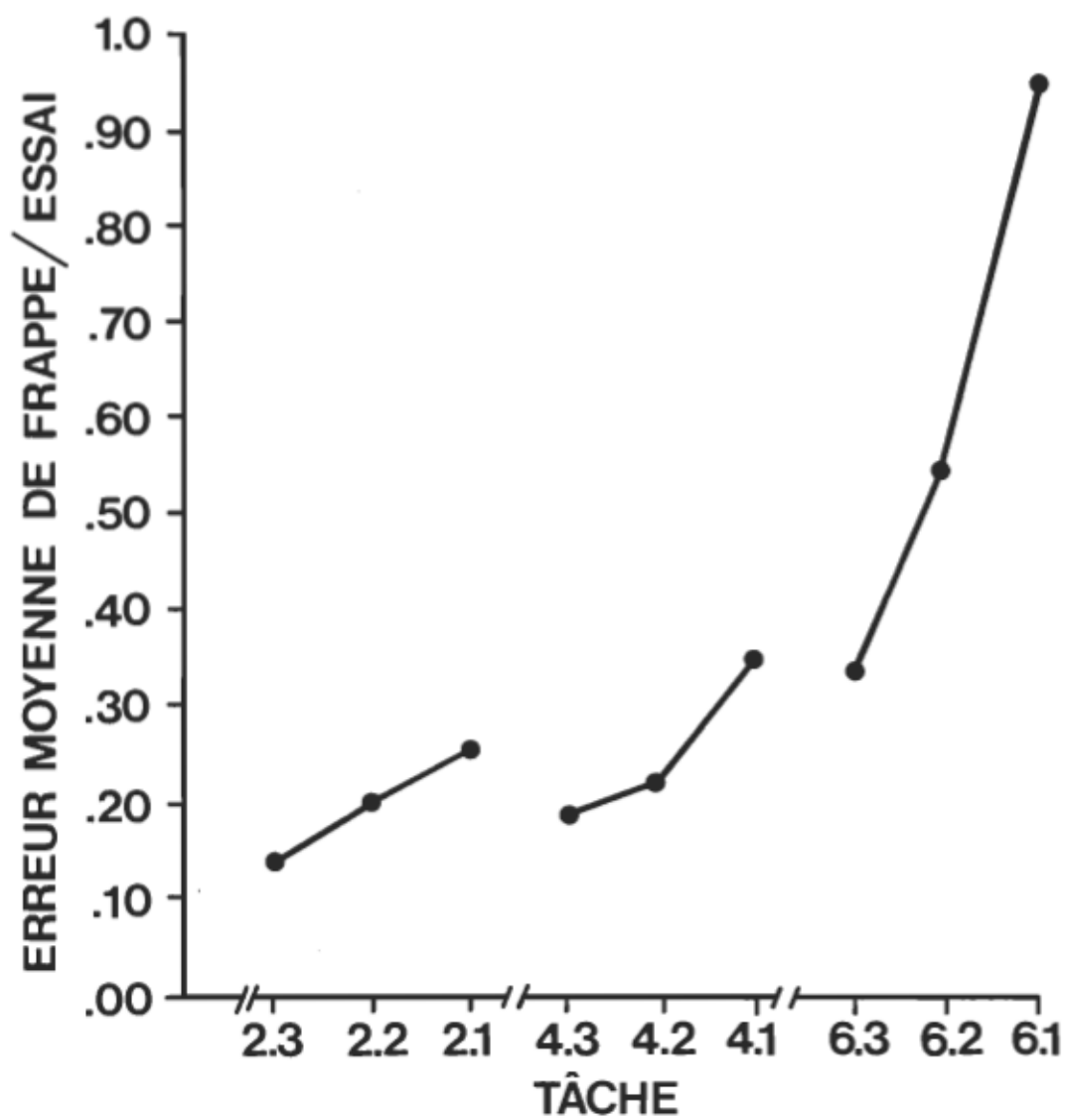


Figure 12. Moyenne des erreurs de frappe par essai dans chacune des tâches (conditions témoin et expérimentale regroupées).

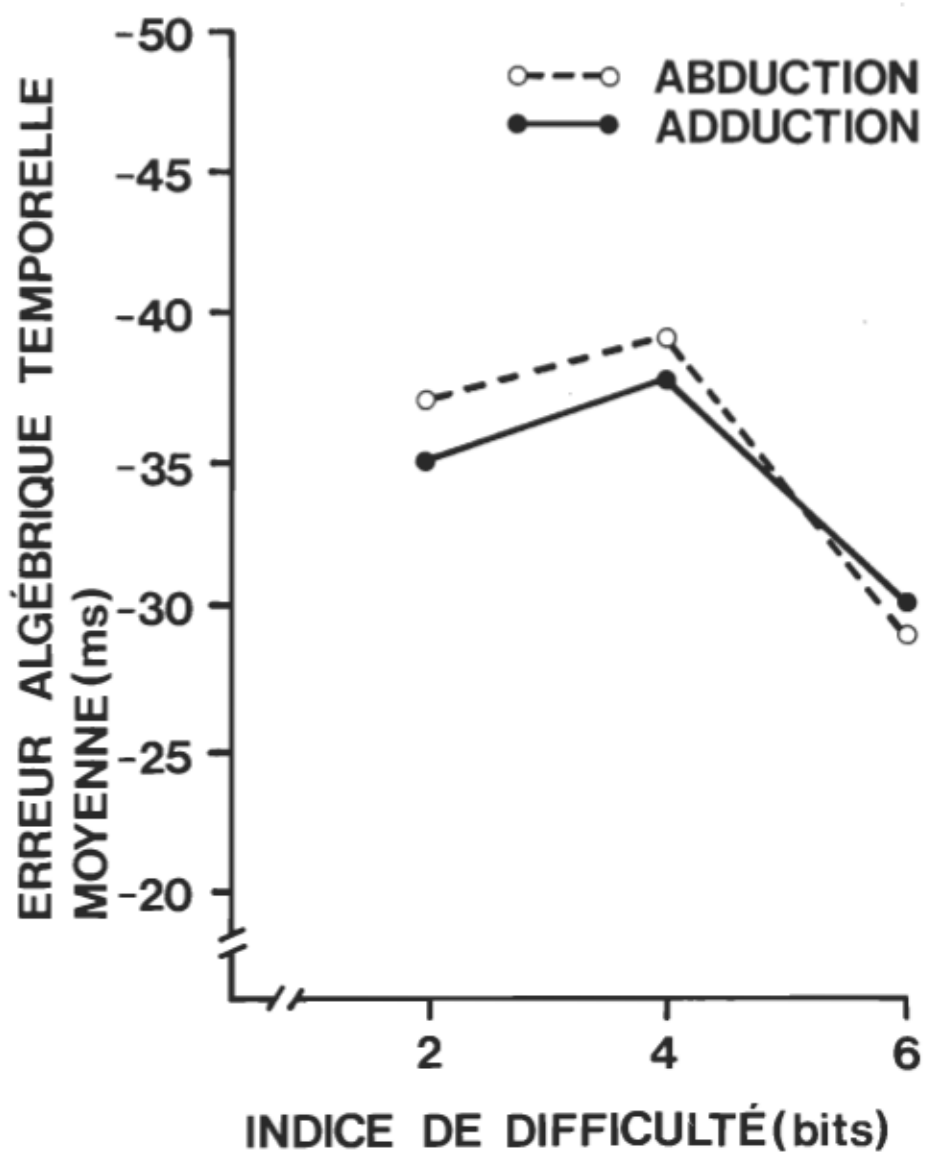


Figure 13. Erreur algébrique temporelle moyenne (ms) de la tâche de frappe en fonction de l'indice de difficulté (bits) et de l'orientation du mouvement (abduction et adduction) pour les conditions témoin et expérimentale regroupées.

tives entre les deux niveaux de difficulté les plus élevés de même qu'entre les tâches 2.2 et 6.2, 2.3 et 6.3 puis 2.2 et 6.3 (tableau 11, annexe a). Les tâches 2.2, 6.2, 2.3 et 6.3 affichaient, dans l'ordre, des valeurs moyennes atteignant -47.07, -36.44, -36.93 et -22.18 ms (figure 14).

Erreur quadratique temporelle moyenne. Toujours en conservant les mêmes facteurs, l'écart temporel absolu de la frappe des cibles ( $\pm 100$  ms maximum) fut calculé comme mesure de la performance sous la forme de l'erreur quadratique temporelle moyenne. L'analyse de la variance (tableau 12, annexe a) fit ressortir un résultat significatif pour le facteur équivalence de tâche,  $F(6, 120) = 12.16$ ,  $p < .001$ . Le facteur condition était aussi significatif,  $F(1, 15) = 13.42$ ,  $p < .01$ . Les valeurs de la condition expérimentale étaient toujours plus élevées que dans la condition témoin: en moyenne, par niveau de difficulté et selon l'ordre du plus facile au plus difficile, ces différences étaient respectivement de 4.17, 4.37 et 3.12 ms. La figure 15 illustre ces résultats significatifs. Un test Tukey (a),  $F(3, 120)$ ,  $p < .01$  sur le facteur équivalence de tâche a fait constater une différence significative de la tâche 4.1 en regard des tâches 4.2 et 4.3 (tableau 13, annexe a). Il en a été de même de la tâche 6.1 comparée à la tâche 6.3. Les tâches à deux bits n'ont pas été réputées significativement différentes les unes par rapport aux autres.

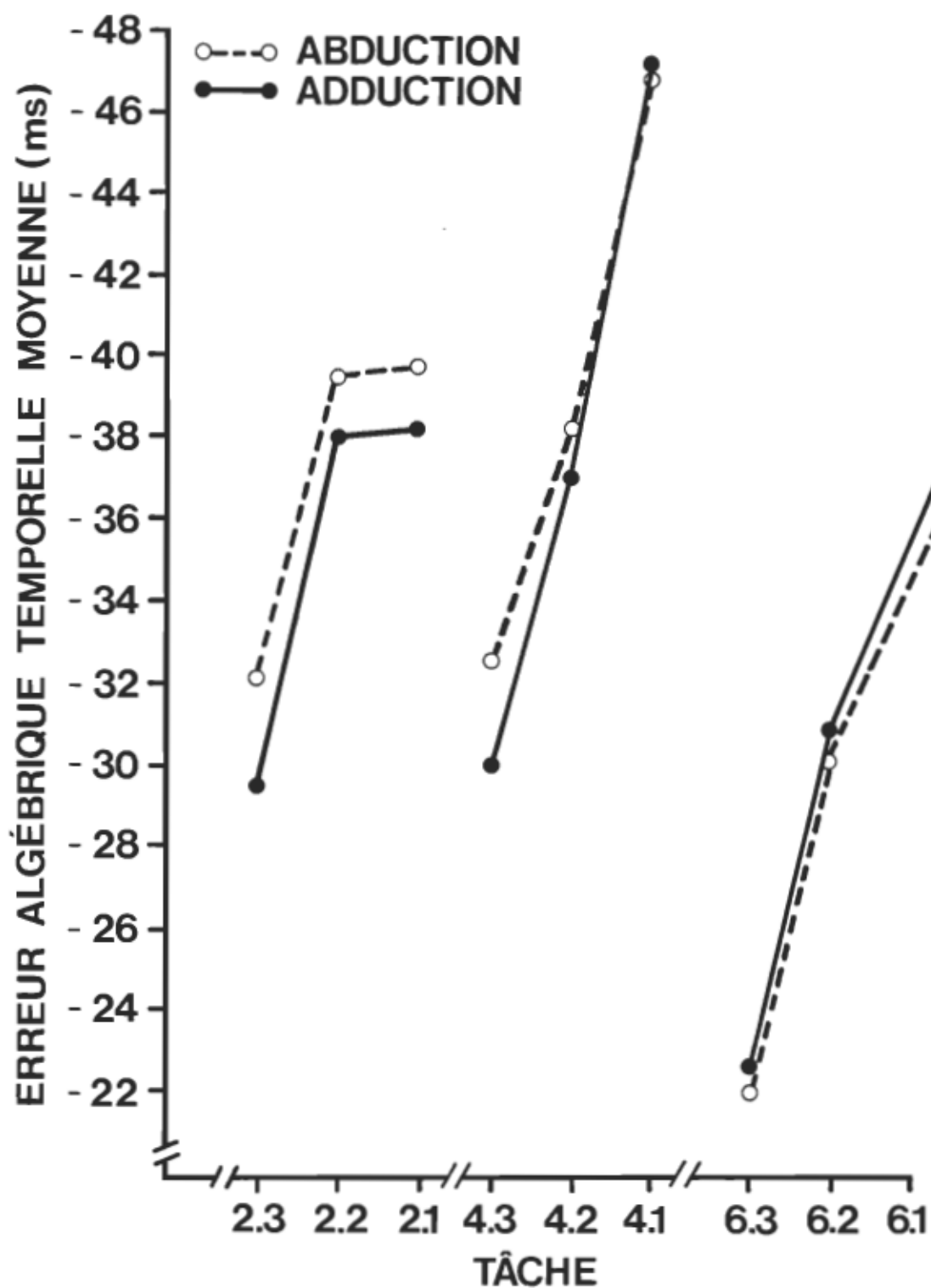


Figure 14. Erreur algébrique temporelle moyenne (ms) de la tâche de frappe en fonction de la tâche et de l'orientation du mouvement (abduction et adduction) pour les conditions témoin et expérimentale regroupées.

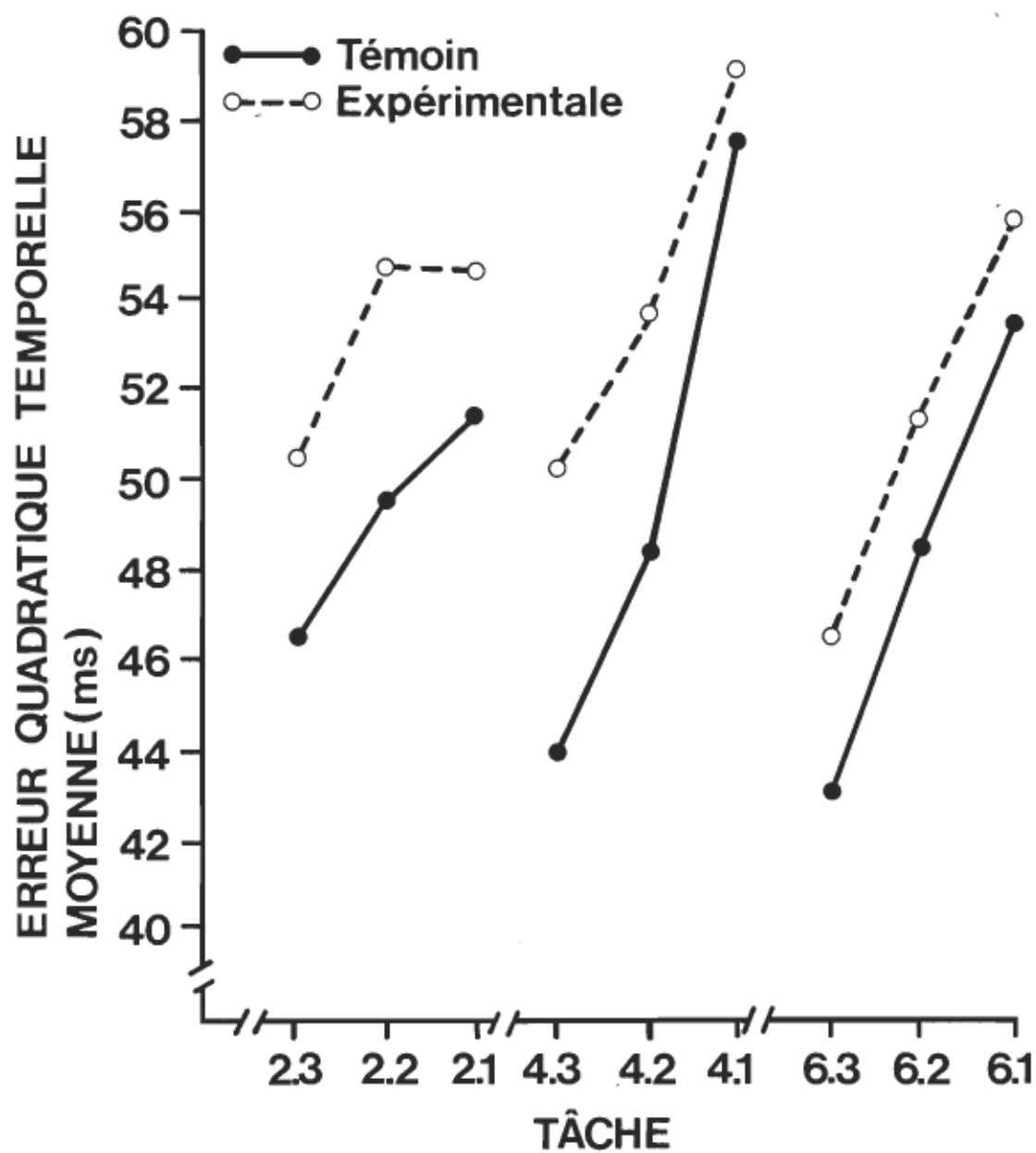


Figure 15. Erreur quadratique temporelle moyenne (ms) en fonction de la tâche dans les conditions témoin et expérimentale.

### Performance dans la tâche secondaire

L'analyse de la variance des temps de réaction (tableau 14, annexe a) impliquait, en plus des mêmes facteurs identifiés dans la tâche primaire, le facteur position temporelle du signal sonore. Dans un mouvement orienté selon l'abduction et l'adduction, la position temporelle du signal sonore pouvait être située à 50, 370 ou 690 ms après le clignotement de la lumière. Les six facteurs s'établissaient donc comme suit: 16 sujets, 3 niveaux de difficulté, 3 tâches équivalentes par niveau de difficulté, 2 conditions, 2 orientations et 3 positions.

Le facteur condition fut significatif,  $F(1, 15) = 228.56$ ,  $p < .001$ . En considérant les trois positions (figure 16), la différence moyenne des temps de réaction entre les deux conditions était de 111.65 ms. Le temps de réaction moyen de la condition témoin était de 233.78 ms comparativement à 345.42 ms dans la condition expérimentale. Le facteur position n'a été significatif qu'à un plus faible degré,  $F(2, 30) = 3.56$ ,  $p < .05$ . Par contre, l'interaction position x condition l'était fortement,  $F(2, 30) = 9.38$ ,  $p < .001$  (figure 16). Dans la condition témoin, le temps de réaction correspondant à la position 50 ms était en moyenne plus bas de 7.10 ms seulement par rapport aux temps de réaction des deux autres positions. Dans la condition expérimentale, les temps de réaction correspondant aux positions 50 ms et 690 ms étaient en moyenne plus élevés de 28.90 ms comparativement au temps de réaction de la position 370 ms. Quant aux facteurs difficulté et orientation, ils ne furent

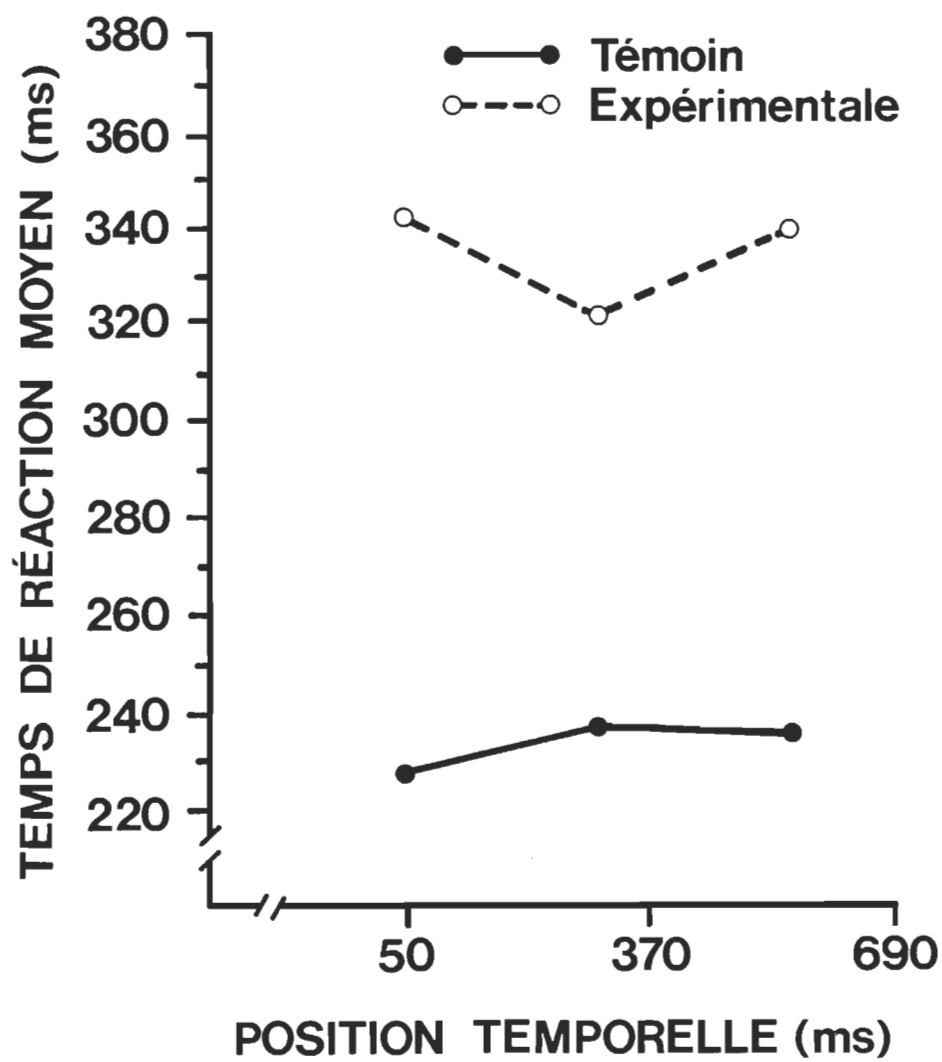


Figure 16. Temps de réaction moyen (ms) en fonction de la position temporelle (ms) de l'émission du signal sonore dans l'essai pour les conditions témoin et expérimentale.



pas significatifs. Le facteur équivalence de tâche a été trouvé significatif,  $F(6,20)=3.22$ ,  $p < .01$  alors que le facteur difficulté ne l'a pas été. L'interaction équivalence de tâche x condition s'est révélée significative,  $F(6,120)=3.32$ ,  $p < .01$  (figure 17).

Enfin, un test de Scheffé sur les tâches,  $F(8,120)$ ,  $p < .01$  n'a fait ressortir aucune différence significative entre les tâches équivalentes pour chaque niveau de difficulté (tableau 15, annexe a).

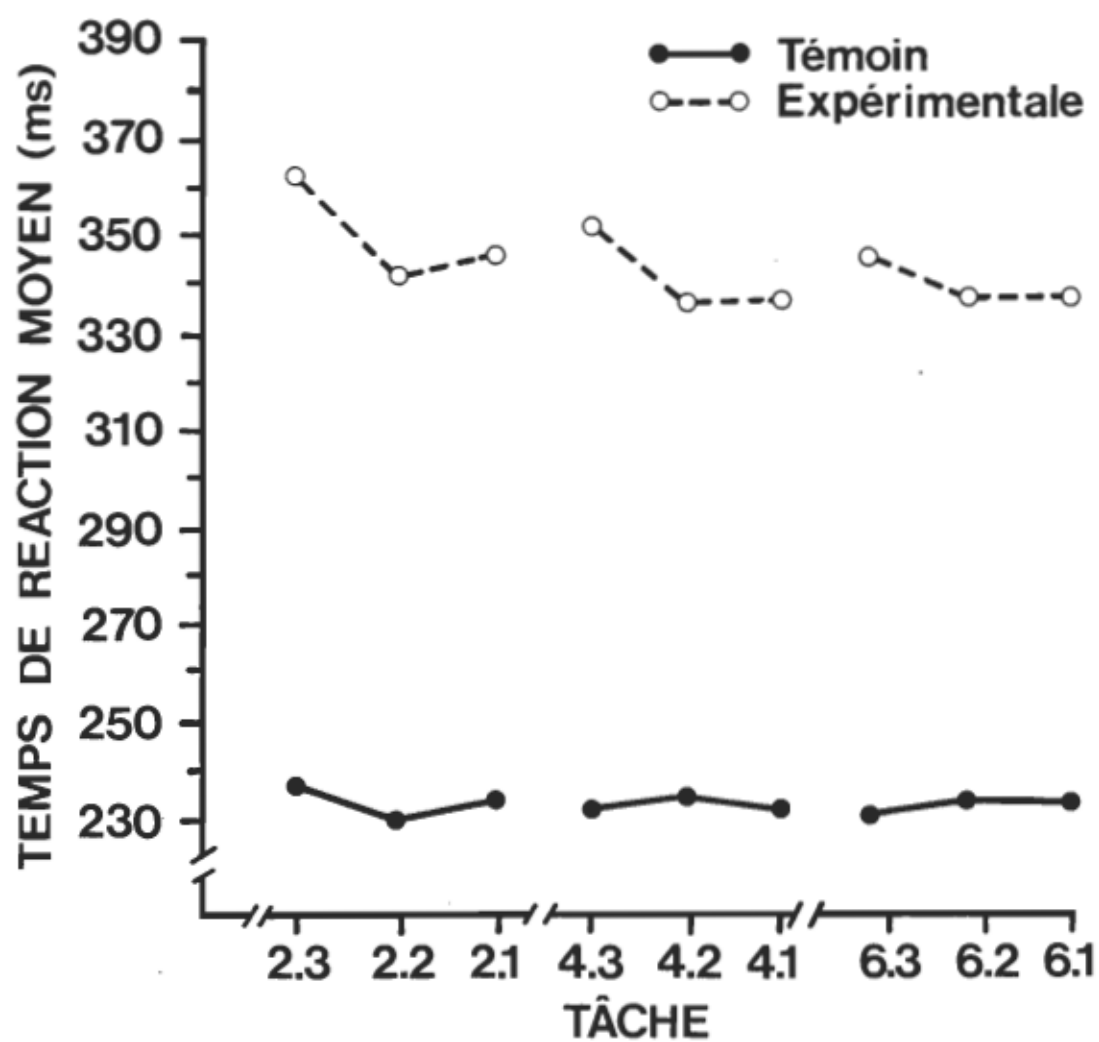


Figure 17. Temps de réaction moyen (ms) en fonction de la tâche dans les conditions témoin et expérimentale.

## CHAPITRE V

### Discussion

#### Contrôle de la tâche primaire

Deux variables de contrôle ont été mises de l'avant face à la tâche primaire. L'une de ces variables identifiait la probabilité de réussir l'ensemble des tâches en considérant le nombre d'essais permis utilisés par les sujets. L'autre variable identifiait la probabilité de réussir les frappes dans chacune des tâches: l'ensemble des tâches était alors considéré selon le nombre des erreurs de frappe commises lors du premier essai. Ces deux variables ont d'ailleurs correspondu à des modèles probabilistes connus. La comparaison entre les figures 3 et 4 de même qu'entre les figures 6 et 7 a révélé des courbes presque identiques dans les conditions témoin et expérimentale.

Ces deux variables de contrôle ont été examinées dans leur aspect le plus sélectif (figure 2 et 5) en ne considérant que le meilleur niveau de réussite, c'est-à-dire a) la réussite de chacune des tâches dès le premier essai et b) la réussite au premier essai sans aucune erreur de frappe. Encore là, les valeurs obtenues furent très rapprochées dans l'une et l'autre conditions comparées. En outre, le nombre de premiers essais réussis était assez semblable pour huit des neuf tâches. Seule la tâche 6.1 comprenant la plus petite cible différait des autres tâches. Cette dernière tâche aurait exigé plus d'entraînement pour ob-

tenir une probabilité de réussir égale aux autres tâches. Mais la méthodologie voulait que soit maintenu un niveau égal d'entraînement. Les tâches 6.1 et 6.2 utilisant les deux plus petites cibles ont obtenu un plus petit nombre de premiers essais réussis sans aucune erreur de frappe comparativement aux sept autres tâches. Fitts et Radford (1968) avaient trouvé que les tâches les plus difficiles s'accommodaient mieux d'une consigne de vitesse. Si la procédure avait permis aux sujets d'exécuter avec une plus grande vitesse les tâches 6.1 et 6.2, celles-ci auraient possiblement pu être mieux réussies.

En somme, il fallait que les tâches de frappe soient non seulement réussies mais également qu'il n'y ait pas de différence significative entre les conditions témoin et expérimentale (Girouard, 1980; Kahneman, 1973). Cette exigence méthodologique impérative a été vérifiée quant aux deux variables de contrôle de la tâche primaire.

#### Contrôle de la tâche secondaire

Moments temporels. Les 114 moments temporels (tableau 2, annexe a) identifiés pour l'émission aléatoire du signal sonore ont été utilisés avec des fréquences (tableau 7, annexe a) à peu près semblables d'une condition à l'autre. L'écart-type des deux distributions a été, pour ainsi dire, égal dans les deux cas. Le test G d'indépendance (Sokal et Rohlf, 1969) a confirmé la non-différence des deux distributions. La procédure du choix aléatoire a donné d'excellents résultats en dépit d'une contrainte conditionnelle à l'acceptation des moments

choisis pour un essai. En effet, les six moments temporels choisis étaient rejetés s'il n'y avait pas au moins deux secondes entre deux moments temporels successifs. La procédure du choix aléatoire s'est aussi avérée excellente même en dépit du fait que la condition expérimentale donnait lieu à nombre d'essais de reprises supplémentaires comparativement à la condition témoin. A ce choix aléatoire s'ajoutait le choix aléatoire de l'ordre d'exécution des tâches et des conditions. Les sujets ne pouvaient certes pas discerner si un moment temporel avait été davantage utilisé pour l'envoi d'un signal sonore auquel la réponse aurait pu être anticipée. En soi, la présente procédure tenait compte de la nécessité d'établir une proportion d'essais en blanc telle que préconisée par Salmoni, Sullivan et Starkes (1976).

La médiane des temps de réaction établie pour chacun des 114 moments temporels (figure 8, annexe a) n'a exigé aucune analyse. Aucune hypothèse ne pouvait faire craindre des effets possibles à ce niveau méthodologique. Seules les fluctuations aléatoires connues du temps de réaction se sont manifestées. Aucun effet de périodicité n'est apparu.

Ordre numérique d'apparition du signal sonore. L'ordre numérique analysé (figure 9) a révélé que le premier temps de réaction était plus long que les cinq suivants. Ce résultat s'est avéré conforme aux études rapportées par Welford (1968) concernant les temps de réaction sériels. Un tel effet n'a pas biaisé les résultats de l'analyse principale puisque chacune des six positions du signal sonore dans un essai a-

vait la possibilité de surgir la première. Ce phénomène était contrôlé par un contre-balancement aléatoire.

Effets d'intervalle. Ces effets analysés selon trois mesures différentes et complémentaires de l'intervalle ont donné lieu à des corrélations nulles dans les trois cas. Ce résultat a donc indiqué que la variation de la longueur des délais temporels précédant un signal sonore n'a pas eu d'influence sur le temps de réaction. Avec la contrainte d'un intervalle d'au moins deux secondes entre les signaux sonores, l'émission de six signaux sonores dans une période aussi courte que 30 secondes s'est révélée adéquate.

Bref, tout indique que les dispositions méthodologiques de même que le contrôle de la tâche secondaire auront contribué à obtenir des résultats fiables et sans ambiguïté en ce qui concerne la performance dans la tâche secondaire.

#### Performance dans la tâche primaire

L'hypothèse de base voulait que l'indice de difficulté de Fitts représente bien les performances observées dans les différentes tâches de frappe. Les résultats attendus devaient laisser apparaître non-significatifs les facteurs difficulté, condition et équivalence de tâche. Les interactions difficulté x condition et équivalence de tâche x condition devaient aussi s'avérer non-significatives. En réalité, tout devait se passer dans la tâche secondaire habilitée à mesurer la quantité d'information traitée caractérisant la difficulté d'une tâche (Leavitt, 1975).

Il se pourrait qu'il soit illusoire de croire que les performances dans les tâches de frappe puissent être équivalentes. Une telle équivalence aurait pu être entravée, d'une part, en fonction d'un rythme imposé d'une frappe / 740 ms et, d'autre part, en fonction d'une condition de simultanéité. Dans un tel cas, les résultats auraient pu voir apparaître significatifs les facteurs difficulté et condition de même que leur interaction. Mais jamais le facteur équivalence de tâche ou son interaction avec le facteur condition ne devraient être significatifs. Car la variable devant représenter les performances dans les tâches de frappe est la difficulté et non pas l'équivalence de tâche pour un niveau de difficulté donné. Si l'équivalence de tâche ou l'amplitude seule ou la précision seule expliquent la performance, alors la difficulté en termes d'indice de difficulté préconisé par Fitts (1954) n'est pas utile. Si le facteur difficulté devait être significatif, un effet linéaire devrait peut-être s'observer dans les performances des tâches de frappe. Une tâche de quatre bits serait alors plus facile que celle de six bits et plus difficile que celle de deux bits.

Erreurs de frappe. Le facteur condition et les interactions difficulté x condition et équivalence de tâche x condition n'ont pas été significatifs. Les tâches de frappe ont donc été réalisées avec une performance égale d'une condition à l'autre selon les exigences méthodologiques de la technique de la tâche secondaire. Par contre, les facteurs difficulté et équivalence de tâche ont été significatifs (tableau 8,

annexe a). Le test de Scheffé (tableau 9, annexe a) a permis d'identifier que la tâche 6.1 aurait causé ces effets significatifs. Les résultats fort différents de cette tâche par rapport aux autres tâches pourraient s'expliquer par l'indice de performance (IDp) défini par la quantité d'information traitée par seconde. Dans le contexte de la loi de Fitts (1954), cet indice de performance est défini en fonction de l'indice de difficulté:

$$IDp = ID / \text{temps}$$

En regard de l'indice de performance, les données de la présente étude ont été comparées avec celles de Bainbridge et Sanders (1972) qui ont utilisé les mêmes amplitudes et manipulé le temps de mouvement comme variable indépendante. Il est apparu que la tâche 6.1 est la seule tâche qui ait révélé un indice de performance plus exigeant que les indices de performance vérifiés par ces deux derniers auteurs. La cible de la tâche 6.1 aurait dû être plus grande pour que cette tâche soit comparable à celle de cette dernière étude. Welford (1969) et Hay (1981) ont trouvé que la largeur de la cible correspondait à une plus grande quantité d'information traitée que l'amplitude. Il est possible que cette quantité d'information traitée se soit accrue davantage pour la plus petite cible. Dans la présente étude cependant, il n'est pas possible de dissocier la quantité d'information traitée en fonction de la largeur et de l'amplitude puisque le temps de mouvement était fixé. Une autre hypothèse admissible serait à l'effet que la lenteur relative dans le



mouvement de la tâche 6.1 ait provoqué une plus grande instabilité dans le patron de mouvement (Langolf, Chaffin et Foulke, 1976) qui aurait alors exigé davantage de corrections de mouvement (Carlton, 1981; Ells, 1973; Newell et Hoshizaki, 1980). Le contrôle de l'inhibition musculaire avancé comme hypothèse explicative par Falkenberg et Newell (1980) avant l'amorce du mouvement pourrait être impliqué durant le mouvement puisqu'il s'agit ici de mouvements alternatifs continus.

Le facteur orientation a été significatif de même que son interaction avec le facteur difficulté (tableau 8, annexe a; figure 11). Fitts (1954) avait relaté une telle tendance à l'effet que le mouvement d'abduction générerait plus d'erreurs de frappe que le mouvement d'adduction. Cette performance inférieure dans le mouvement d'abduction pourrait s'expliquer par le fait que la main voilait partiellement la cible du côté abductif. Ce phénomène rendrait moins précise la frappe au point de rater davantage les cibles très petites à six bits. Par contre, l'interaction significative voudrait dire que dans les tâches plus faciles (à deux et quatre bits, par exemple) ce phénomène abduction-adduction ne se produirait pas. Dans le cas de ces deux indices de difficulté, la main ne cacherait pas la cible d'ailleurs relativement grande. Ce phénomène se verrait seulement en présence des plus petites cibles.

Somme toute, les erreurs de frappe n'ont pas très bien reflété l'indice de difficulté de Fitts. Ces erreurs ont été identiques à deux et quatre bits puis ont augmenté significativement à six bits. C'est comme

si l'indice de difficulté de Fitts cessait de s'appliquer à la tâche 6.1. D'un autre côté, la présence ou non de la tâche secondaire n'a pas affecté la tâche de frappe telle que mesurée par le nombre d'erreurs de frappe.

Erreur algébrique temporelle. L'idée d'imposer un rythme de mouvement est apparue dans nombre de recherches en utilisant un métronome ou un clignotement de lumières. Mais l'enregistrement de données relatives à une telle variable pour vérifier l'exactitude du rythme suivi faisait défaut. Même Kantowitz et Knight (1978b) n'ont pas vérifié jusqu'à quel point le sujet s'approchait ou s'éloignait du rythme désiré et imposé. Il n'y a donc pas de littérature disponible dans l'immediat qui pourrait guider l'interprétation des résultats de la présente étude concernant cette variable.

L'erreur algébrique temporelle négative signifie que les sujets ont anticipé la frappe des cibles par rapport à l'allumage des lumières. Comme mouvement, la longueur du trajet à parcourir aurait contribué à réduire cette anticipation. De là s'expliquerait l'effet significatif du facteur équivalence de tâche (tableau 10, annexe a; figure 14). Le test de Scheffé (tableau 11, annexe a) a confirmé cet effet significatif en le localisant à quatre et six bits. Pour chacun de ces indices, la tâche utilisant la plus grande amplitude s'est nettement mieux rapprochée du rythme imposé que la tâche dotée de la plus petite amplitude. Mais l'effet de l'amplitude aurait une portée plutôt limitée. En effet, pour les

tâches pairées par une même largeur de cible, l'amplitude différente a semblé provoquer une différence significative entre les tâches 4.1 et 6.3 mais pas entre les tâches 2.1 et 4.3. Cela signifierait que ce ne sont pas toujours les mêmes variables ou combinaisons de variables qui contribueraient à ralentir un geste à tendance anticipative à l'intérieur de la gamme des tâches de cette étude-ci. Le facteur difficulté confirmé significatif entre les indices de quatre et de six bits dans le test de Scheffé de même que l'interaction difficulté x orientation s'expliqueraient en vertu de variables différentes.

Les tâches indicées à quatre bits sont intermédiaires et se différencient significativement des tâches à six bits qui ont nettement une meilleure performance. Les tâches indicées à deux bits ne sont pas réputées différentes de celles à quatre bits quoique, à deux bits, la performance soit légèrement meilleure. A deux bits, les cibles sont plus larges et les sujets n'ont pas à craindre de manquer la frappe des cibles. Les sujets peuvent alors se concentrer davantage sur le rythme et réduire légèrement leur anticipation de la frappe par rapport à quatre bits. Exécuter des tâches plus faciles, indicées à un bit par exemple, permettrait de vérifier si la meilleure performance à deux bits est le début d'une amélioration qui se poursuivrait à un bit.

L'interaction difficulté x orientation est la seule interaction significative. A deux et quatre bits, le mouvement en abduction a démontré un peu plus d'anticipation de la frappe de cible tandis qu'à six bits,

l'anticipation a été moindre. Les erreurs de frappe de l'analyse précédente avaient manifesté une difficulté beaucoup plus grande à frapper correctement la cible en abduction à six bits. Or, les sujets pouvaient se rendre compte par eux-mêmes des erreurs de frappe sur l'une et l'autre cibles. Puisque les sujets se rendaient compte des erreurs plus abondantes sur la cible abductrice, il est concevable de croire que leur stratégie de correction ait consisté à mettre plus de temps (ralentir le mouvement) pour frapper cette cible. Du même coup, cet effort en vue de rater moins souvent la frappe de cette cible a réduit l'anticipation. Il en est ainsi résulté une meilleure synchronisation avec l'allumage de la lumière.

Il semble bien que l'erreur algébrique temporelle ne s'est pas comportée selon l'indice de Fitts. Cette variable aurait répondu différemment selon les erreurs de frappe, les paramètres des tâches et l'indice de difficulté. Pour l'instant, les résultats de cette étude-ci ne peuvent davantage expliquer les variables influençant l'ajustement à un rythme imposé.

Erreur quadratique temporelle moyenne. Aucune interaction (tableau 12, annexe a) n'a été significative à une probabilité suffisante ( $p > .01$ ). Le facteur difficulté n'a pas été significatif. Mais le facteur équivalence de tâche ayant été significatif, il apparaît clair que cette variable ne s'est pas conformée à l'indice de Fitts puisque l'hypothèse principale de la tâche primaire était que toutes les tâches de mê-

me indice de difficulté fussent équivalentes entre elles. Un test Tukey (a) a confirmé ces différences à quatre et à six bits (tableau 13, annexe a). Le profil de l'erreur quadratique temporelle moyenne (figure 15) a été à peu près semblable à celui de l'erreur algébrique temporelle (figure 14) sauf que l'interaction difficulté x orientation ne s'est pas manifestée. D'un autre côté, cette interaction était significative pour les erreurs de frappe. Cela signifierait que les variables dépendantes utilisées pour jauger certains aspects de la performance dans une tâche seraient très spécifiques comme l'erreur spatiale comparée à l'erreur temporelle. Elles seraient aussi sensibles, entre autres, à la forme d'expression manipulée comme c'est le cas de l'erreur algébrique temporelle face à l'erreur quadratique temporelle moyenne. A titre d'exemple, si l'indice de Fitts ne s'applique pas face à cette dernière erreur analysée, il ne serait pas impossible que l'amplitude considérée sous l'aspect de la vitesse impliquée - à rythme fixe, l'amplitude correspond à une vitesse donnée - expliquerait les résultats à quatre et six bits. Mais pour l'instant, aucune comparaison ne peut être faite puisque les études semblables n'ont pas analysé cette variable temporelle.

Le facteur condition a été significatif dans cette analyse-ci alors que ce n'était point le cas dans les autres analyses précédentes. Cette variable temporelle de la tâche primaire s'est donc trouvée affectée par la tâche secondaire. Dans chacune des tâches de frappe, la condition expérimentale a obtenu une performance inférieure à la condition témoin

(figure 15) quant au synchronisme à assurer. L'observation des sujets durant l'expérimentation a permis de déceler globalement que parfois la frappe était beaucoup plus anticipée et parfois aussi considérablement retardée lors de l'émission ou de la réponse au signal sonore. Une étude ultérieure serait nécessaire pour confirmer cette observation. Une évidence s'est donc dégagée de l'analyse de l'erreur quadratique temporelle moyenne: la tâche secondaire de temps de réaction a contribué à perturber davantage le rythme exigé dans l'exécution de la tâche primaire.

EN RESUME, les tâches de frappe telles qu'exécutées dans cette étude-ci ne se sont pas conformées à l'indice de difficulté de Fitts et ce, tant pour ce qui a été de la performance de précision dans les frappes que de la performance temporelle dans le rythme. De plus, la tâche secondaire de temps de réaction a causé une certaine détérioration de ce dernier aspect de la tâche primaire. L'analyse de la performance de la tâche secondaire devra judicieusement évaluer les incidences conséquentes dans l'interprétation des résultats de l'indice de l'attention.

#### Performance de la tâche secondaire

L'hypothèse de base voulait que la courbe de l'attention mesurée par un temps de réaction simple reflète la difficulté des tâches selon l'indice de Fitts. Dans ce cas, le temps de réaction augmenterait linéairement et proportionnellement avec cet indice de difficulté. Selon le modèle général de l'attention, le facteur condition devrait être signifi-

catif. Conformément à ce modèle et pour le genre de mouvements (Posner et Keele, Note 3) utilisés dans cette étude-ci, l'attention serait plus élevée au début et à la fin du mouvement. Le facteur position hautement significatif dénoterait une exigence encore beaucoup plus grande de l'attention à certains moments durant le mouvement. L'expression graphique serait la courbe en U asymétrique. Ces courbes seraient parallèlement distancées en fonction de l'indice de difficulté. Enfin, le facteur équivalence de tâche ne devait pas être significatif puisque, par définition, les tâches ayant le même indice de difficulté devaient être réputées égales entre elles.

Indice de l'attention. Le facteur condition (tableau 14, annexe a; figure 16) significatif indique effectivement l'exigence en attention pour accomplir la tâche primaire. Cette différence de plus de 100 ms en moyenne entre les conditions témoin et expérimentale dépasse les valeurs obtenues par Posner et Keele (Note 3) pour des temps de réaction lors de mouvements semblables.

Les temps de réaction un peu plus longs dans la présente étude pourraient s'expliquer en vertu de la complexité de la tâche primaire. Les tâches de frappe requéraient deux niveaux de précision: précision temporelle dans le rythme à suivre et précision spatiale dans la cible à atteindre. Les sujets devaient donc exécuter des corrections spatiales et temporelles. Les référentiels de ces ajustements correctifs pouvaient originer tous deux de la rétro-action visuelle. La quantité d'infor-

mation à traiter était vraisemblablement plus grande que dans certaines autres études où seul l'aspect spatial était impliqué.

En fonction du facteur position, la courbe en U a été obtenue sans pour autant être asymétrique selon son expression classique (Girouard, 1980). Ces résultats ont corroboré ceux de Posner et Keele (Note 3). Les temps de réaction obtenus, aussi élevés à la fin qu'au début du mouvement, s'expliqueraient de par la nature continue des mouvements alternatifs de frappe. Car la fin d'un mouvement coïncidait immédiatement avec le début du mouvement suivant exécuté dans la direction contraire du précédent. L'interaction condition x position fortement significative s'expliquerait en termes de traitement de l'information. Une précaution méthodologique avait consisté à rendre égal le contexte de perception visuelle dans toutes les conditions en faisant clignoter les lumières même lorsque la tâche secondaire était exécutée seule. Mais en fait, il y aurait eu une différence au niveau du traitement de l'information. Dans la condition témoin de la tâche secondaire, les sujets percevaient le clignotement rythmé des lumières sans avoir à se soucier d'en suivre le rythme. Aucun mouvement n'était requis. Dans la condition expérimentale, ce clignotement rythmé devait non seulement être perçu mais encore il fallait le suivre en y conformant son mouvement. Dans l'un et l'autre cas, l'effet a été différent et s'est fait sentir sur les temps de réaction correspondant aux positions extrêmes de l'émission du signal sonore, soit à 50 et 690 ms.



Dans la tâche de temps de réaction exécutée seule, la très grande proximité (50 ms) du signal sonore et du clignotement de la lumière aurait provoqué un renforcement du signal sonore en tant que stimulus devant amener les sujets à répondre "oui". Selon Laberge et Tweedy (1964), lorsque deux stimuli peuvent être associés à une seule et unique réponse, le temps de réaction est plus rapide. Dans la condition expérimentale, cette proximité des stimuli ne pouvait pas provoquer cet effet facilitateur pour réagir plus vite. Au contraire, la charge d'information était augmentée. Les deux stimuli devaient être traités pour être ensuite exécutés dans leurs tâches respectives. Le clignotement de la lumière amenait les sujets à vérifier leur conformité au rythme et à s'ajuster au besoin. Le signal sonore exigeait une réponse le plus rapidement possible. La tâche primaire exécutée en simultanéité avec la tâche secondaire aurait été affectée quant à la précision temporelle comme l'ont indiqué les résultats concernant l'erreur quadratique temporelle moyenne. Celle-ci n'a quand même varié qu'en deçà de 4 ms en moyenne entre les deux conditions.

Une autre hypothèse pouvant expliquer la différence concernant l'erreur quadratique temporelle moyenne serait que la réponse "oui" aurait quelque peu fait varier la trajectoire du mouvement de façon à provoquer un léger écart temporel. Cette variation du mouvement aurait été trop faible pour avoir une répercussion spatiale pénalisante sur la cible.

En somme, les résultats du temps de réaction ont corroboré le modèle de l'attention comme l'a montré la courbe en U. La faible détérioration de la tâche primaire n'aura probablement représenté qu'un faible pourcentage d'erreur dans la mesure de l'attention. Mais il ne faut pas perdre de vue l'influence réciproque et pénalisante des deux tâches exécutées en simultanéité. Car il y a eu une certaine détérioration de l'une et l'autre tâches dans la condition expérimentale. Dans la tâche primaire, la variable sensible à cette détérioration aurait été l'erreur quadratique temporelle moyenne. Dans la tâche secondaire, une telle détérioration se serait manifestée par une différence plus élevée du temps de réaction entre les conditions témoin et expérimentale.

Indice de difficulté de Fitts. Le facteur difficulté n'a pas été significatif. Concernant le facteur équivalence de tâche qui a été significatif ( $p < .01$ ) aucune comparaison d'intérêt (tableau 15, annexe a) n'a atteint la valeur significative au test de Scheffé ( $p < .01$ ). A l'intérieur de chacun des niveaux de difficulté, les temps de réaction n'ont pas semblé non plus varier systématiquement en fonction de l'une ou de l'autre des variables impliquées dans l'indice de difficulté de Fitts. L'indice de difficulté de Fitts ne s'est pas reflété dans la tâche secondaire de temps de réaction. L'exigence en attention a été relativement égale pour tous les indices de difficulté.

L'analyse de l'interaction équivalence de tâche x condition

a permis de constater que les temps de réaction les plus longs ont été associés à la plus grande amplitude. De plus, les temps de réaction à l'intérieur de cette même amplitude ont eu tendance à diminuer avec l'augmentation de la difficulté. Cette interaction, en apparence liée aux trois tâches ayant la plus grande amplitude, serait en réalité liée à la plus grande vitesse d'exécution. Il semble donc qu'une certaine vitesse d'exécution exige plus d'attention comme Newell et Hoshizaki (1980) ont pu l'observer. Car, pour les six autres tâches ayant les deux plus petites amplitudes et conséquemment les moindres vitesses, les temps de réaction étaient pratiquement égaux. Plusieurs auteurs ont conclu que plus l'exigence dans la précision était grande, plus l'exigence en attention était élevée (Ells, 1973; Posner et Keele, Note 3). Par ailleurs, les temps de réaction les plus longs n'ont pas été obtenus avec les plus petites cibles. C'est même la tâche avec la cible la plus large qui a eu le plus long temps de réaction (figure 17).

Les performances de la tâche primaire pour les trois tâches ayant la plus grande amplitude et conséquemment la plus grande vitesse, ont été relevées. Il est apparu que ces trois tâches ont obtenu les meilleures performances de frappe dans les trois variables identifiées comme critères de réussite. Ces meilleures performances dans la tâche primaire ont semblé correspondre à une plus grande exigence en attention. Les trois mouvements les plus rapides ont été faits avec plus de succès et ont exigé plus d'attention. Les tendances observées par Fitts

et Radford (1968) allaient plutôt dans le sens inverse.

EN RESUME, l'indice de l'attention tel que mesuré par la tâche secondaire de temps de réaction a corroboré l'exigence en attention durant le mouvement conformément au modèle de l'attention. Un tel modèle laisse apparaître que l'attention est plus élevée au début et à la fin d'un mouvement. L'analyse de la variance (tableau 14, annexe a) des temps de réaction avait identifié seize interactions dont deux seulement ont été significatives ( $p < .01$ ). Ces deux interactions ont impliqué le facteur condition déjà significatif ( $p < .001$ ), d'une part, avec chacun des facteurs position et équivalence de tâche, d'autre part. Mais l'interaction équivalence de tâche  $\times$  condition n'aurait pas dû être significative. Ces résultats indiquent la non-vérification de l'hypothèse principale soutenant que la détérioration de la performance dans la tâche secondaire serait proportionnelle à l'indice de difficulté de la tâche primaire tel que formulé par Fitts (1954). L'indice de difficulté de Fitts ne s'est nullement reflété dans l'indice de l'attention. Les trois variables de la performance et les deux variables de contrôle de la tâche primaire n'ont pas permis de voir des effets constants ou des tendances se répétant d'une variable à l'autre à l'égard de tel ou tel facteur. A titre d'exemple, le facteur orientation significatif ( $p < .01$ ) dans l'analyse des erreurs de frappe ne l'a pas été dans l'analyse des deux autres variables de la performance. Les effets variés et inégaux des facteurs de la tâche primaire ne se sont pas manifestés singulièrement dans la tâche

che secondaire.

Ces résultats sont différents de ceux de Kantowitz et Knight (1978), qui affirmaient que l'indice de difficulté de Fitts offrait une meilleure prédiction de l'attention que du temps de mouvement. Ces deux auteurs ont trouvé une différence significative entre quatre et six bits pour des tâches de frappe semblables avec rythme imposé. Il semble que la différence entre ces résultats et ceux de la présente étude serait liée à la tâche secondaire utilisée qui était différente dans les deux études. Enfin, l'affirmation de la linéarité de la loi de Fitts face à l'indice de l'attention ne pourra se vérifier qu'en comparant effectivement au moins trois niveaux de difficulté.

### Conclusion

En contrôlant le rythme d'exécution dans des tâches de frappe, Bainbridge et Sanders (1972) de même que Kantowitz et Knight (1978b) ont vérifié une fois encore la pertinence de la loi de Fitts et/ou de son indice de difficulté. En plus, ces deux derniers auteurs avaient obtenu des résultats les amenant à conclure que l'indice de Fitts était davantage un indice de l'attention qu'un indice de prédiction du temps de mouvement. La présente étude a corroboré les résultats classiques concernant l'exigence en attention à différents moments durant l'exécution d'un mouvement. Mais, contrairement à Kantowitz et Knight (1978b), il n'a pas pu être démontré ici que l'indice de difficulté de Fitts pouvait aussi être vu comme un indice de l'attention.

Selon Leavitt (1975), c'est la quantité d'information à traiter qui rendrait le mieux compte de la difficulté d'une tâche. Or, les résultats obtenus dans cette étude-ci en regard de l'attention évaluée par la tâche secondaire de temps de réaction ne rendent pas compte de l'indice de performance (IDp) de la tâche primaire. En effet, à deux, quatre et six bits, l'indice de performance est respectivement 2.7, 5.4 et 8.1 bits/seconde. La détérioration de la tâche de temps de réaction dans la condition expérimentale indique effectivement que la tâche de mouvement exige de l'attention. Mais une telle détérioration n'est pas proportionnelle à l'information traitée évaluée dans l'indice de performance. En effet, l'interaction difficulté x condition n'a pas atteint un niveau significatif suffisant (tableau 14, annexe a). L'exigence en attention (temps de réaction détérioré) serait spécifique aux tâches elles-mêmes selon des paramètres précis d'amplitude et de largeur de cible. Mais encore là, un test de Scheffé, trouvé non-significatif pour le facteur équivalence de tâche, réduit presque au silence cette explication possible.

Serait-ce que les deux indices manipulés ne seraient pas fiables? Au contraire, il semble plutôt que ces indices soient fiables. D'une part, l'indice de Fitts a été maintes fois vérifié comme l'a souligné la revue de la littérature. D'autre part, les résultats relativement aux temps de réaction de la présente étude ont été conformes au modèle de l'attention en ce qui concerne l'exécution d'un mouvement. Mais il est

## ANNEXE A

### Tableaux des résultats

possible que le temps de réaction simple (0 bit) soit trop facile pour être sensible aux variations subtiles de l'attention en réserve (capacité de réserve). En utilisant une tâche secondaire plus complexe, Kantowitz et Knight (1978b) auraient alors été capables de cerner ces variations subtiles de l'attention en réserve. Cette hypothèse pourrait faire l'objet d'une étude subséquente.



Tableau 2

Les 114 moments temporels pour l'émission possible du signal sonore, identifiés selon la direction du mouvement, la position du signal sonore (SS<sub>1</sub> à SS<sub>3</sub>) et le moment de la frappe des cibles gauche et droite

Numéro de l'évè- nement	Moment temporel de l'évènement (sec.)							
	Frappe (Mvt d'abduction)				Frappe (Mvt d'adduction)			
	gauche	SS1	SS2	SS3	droite	SS1	SS2	SS3
a <sup>a</sup>	0.00				0.74			
b	1.48				2.22			
c	2.96				3.70			
d	4.44				5.18			
e	5.92				6.66			
f	7.40				8.14			
g	8.88				9.62			
1 <sup>b</sup>	10.36	10.41	10.73	11.05	11.10	11.15	11.47	11.79
2	11.84	11.89	<u>12.21</u> <sup>c</sup>	12.53	12.58	12.63	12.95	13.27
3	13.32	13.37	13.69	14.01	14.06	14.11	14.43	14.75
4	14.80	<u>14.85</u>	15.17	15.49	15.54	15.59	15.91	16.23
5	16.28	16.33	16.65	16.97	17.02	17.07	17.39	17.71
6	17.76	17.81	18.13	18.45	18.50	18.55	18.87	19.19

Suite à la page suivante

Tableau 2 (suite)

Numéro de l'évè- nement	Moment temporel de l'évènement (sec.)							
	Frappe (Mvt d'abduction)				Frappe (Mvt d'adduction)			
	gauche	SS1	SS2	SS3	droite	SS1	SS2	SS3
7	19.24	19.29	19.61	<u>19.93</u>	19.98	20.03	20.35	20.67
8	20.72	20.77	21.09	21.41	21.46	21.51	21.83	22.15
9	22.20	22.25	22.57	22.89	22.94	22.99	23.31	23.63
10	23.68	23.73	24.05	24.37	24.42	24.47	24.79	<u>25.11</u>
11	25.16	25.21	25.53	25.85	25.90	25.95	26.27	26.59
12	26.64	26.69	27.01	27.33	27.38	27.43	<u>27.75</u>	28.07
13	28.12	28.17	28.49	28.81	28.86	28.91	29.23	29.55
14	29.60	29.65	29.97	30.29	30.34	30.39	30.71	31.03
15	31.08	31.13	31.45	31.77	31.82	31.87	32.19	32.51
16	32.56	32.61	32.93	33.25	33.30	33.35	33.67	33.99
17	34.04	34.09	34.41	34.73	34.78	34.83	35.15	35.47
18	35.52	35.57	35.89	36.21	36.26	36.31	36.63	36.95
19	37.00	37.05	37.37	37.69	37.74	<u>37.79</u>	38.11	38.43
20	38.48				39.22			

<sup>a</sup> Les 14 premières frappes de mise en rythme du sujet; aucun signal sonore émis.

<sup>b</sup> Début de l'enregistrement des données (à compter de la quinzième frappe).

<sup>c</sup> A titre d'exemple, les moments temporels soulignés indiquent l'émission des 6 signaux sonores de l'essai "8 2 S" du tableau 3 suivant.

L'enregistrement des données brutes telles que formulées et mémorisées sur fichier-disque pour chacun des essais.

<sup>a</sup> L'astérisque (\*) signifiant un essai raté du fait de l'atteinte de 5 erreurs.

<sup>c</sup> 25: tâche secondaire avec les moments temporels (en secondes avec précision au centième) d'émission du signal sonore et les temps de réaction correspondants (ms).

94

Tableau 4

Probabilités théoriques (P. T.) et taux observés (T. O.) de réussite  
des tâches de frappe au premier essai selon les conditions  
témoin et expérimentale et l'indice de difficulté (I. D.)

I D (bits)	Tâche	Condition			
		Témoin		Expérimentale	
		P. T.	T. O.	P. T.	T. O.
2	2.3	1.00	1.00	.95	.94
	2.2	.98	.98	.97	.97
	2.1	.99	.98	.94	.92
		.99 <sup>a</sup>	.99	.95	.94
	4.3	.99	.98	.99	.98
	4.2	.95	.95	.92	.92
	4.1	.94	.94	.89	.88
4		.96	.96	.93	.93
	6.3	.93	.92	.92	.95
	6.2	.90	.89	.85	.84
	6.1	.54	.56	.49	.50
6		.79	.79	.76	.77

<sup>a</sup> Moyenne pour les 3 tâches de même indice de difficulté.

Tableau 5

Taux observés d'essais réussis selon le nombre d'erreurs de frappe commises dans l'essai en fonction des tâches, des conditions témoin et expérimentale et de l'indice de difficulté (ID), compte tenu de la probabilité théorique (Pt) de réussir une frappe pour une tâche donnée

ID (bits)	Tâche	Condition													
		Témoin							Expérimentale						
		Pt	0	1	2	3	4	5 <sup>+</sup>	Pt	0	1	2	3	4	5 <sup>+</sup>
2	2.3	1.00 <sup>a</sup>	.83	.11	.05	.00	.02	.00	.99	.75	.13	.02	.06	.00	.05
	2.2	.99	.78	.17	.02	.00	.02	.02	.99	.59	.20	.08	.05	.05	.03
	2.1	.99	.72	.17	.09	.00	.00	.02	.99	.55	.19	.06	.08	.05	.08
			.78 <sup>b</sup>							.63					
	4.3	.99	.69	.22	.05	.03	.00	.02	.99	.69	.20	.06	.03	.00	.02
	4.2	.99	.67	.17	.09	.00	.02	.05	.99	.56	.20	.13	.02	.02	.08
4	4.1	.99	.58	.14	.14	.03	.05	.06	.99	.47	.22	.11	.05	.03	.13
			.65							.57					
	6.3	.99	.52	.22	.13	.06	.00	.08	.99	.52	.23	.09	.06	.05	.05
	6.2	.97	.33	.30	.19	.06	.02	.11	.97	.28	.27	.14	.08	.08	.16
	6.1	.90	.09	.17	.19	.06	.06	.42	.89	.11	.17	.11	.11	.06	.44
			.31							.30					
6	$\bar{X}^c$		.58	.19	.10	.03	.02	.09		.50	.20	.09	.06	.04	.11

<sup>a</sup> Toutes les données, calculées au dix millième, furent arrondies au centième de décimal.

<sup>b</sup> La moyenne des tâches pour un même indice de difficulté dans le cas d'essais réussis sans erreur.

<sup>c</sup> La moyenne des taux observés de toutes les tâches regroupées.

Tableau 6

Taux théoriques d'essais réussis selon le nombre d'erreurs de frappe commises dans l'essai en fonction des tâches, des conditions témoin et expérimentale et de l'indice de difficulté (ID), compte tenu de la probabilité théorique (Pt) de réussir une frappe pour une tâche donnée

ID	Tâche	Condition													
		Témoin							Expérimentale						
		Pt	0	1	2	3	4	5 <sup>+</sup>	Pt	0	1	2	3	4	5 <sup>+</sup>
2	2.3	1.00 <sup>a</sup>	.85	.14	.01	.00	.00	.00	.99	.80	.18	.02	.00	.00	.00
	2.2	.99	.79	.19	.02	.00	.00	.00	.99	.64	.29	.07	.01	.00	.00
	2.1	.99	.74	.22	.03	.00	.00	.00	.99	.61	.31	.08	.01	.00	.00
			.79 <sup>b</sup>							.68					
	4.3	.99	.71	.25	.04	.01	.00	.00	.99	.71	.25	.04	.00	.00	.00
	4.2	.99	.71	.25	.04	.01	.00	.00	.99	.60	.31	.08	.01	.00	.00
	4.1	.99	.63	.29	.07	.01	.00	.00	.99	.51	.35	.12	.03	.00	.00
4			.68							.60					
	6.3	.99	.54	.33	.10	.02	.00	.00	.99	.55	.33	.10	.02	.00	.00
	6.2	.97	.33	.37	.20	.07	.10	.01	.97	.28	.36	.23	.09	.03	.01
	6.1	.90	.01	.06	.13	.19	.21	.41	.89	.01	.05	.12	.18	.20	.44
6			.29							.28					
	$\overline{X}^c$		.59	.23	.07	.03	.03	.05		.52	.27	.09	.04	.03	.05

<sup>a</sup> Toutes les données, calculées au dix millième, furent arrondies au centième de décimal.

<sup>b</sup> La moyenne des tâches pour un même indice de difficulté dans le cas d'essais réussis sans erreur.

<sup>c</sup> La moyenne des taux théoriques de toutes les tâches regroupées en fonction de n erreurs.

Tableau 7

Fréquence d'utilisation de chacun des moments temporels pour chacune  
des positions du signal sonore dans les conditions témoin et expérimentale

Moments	Condition											
temporels	Témoins <sup>a</sup>						Expérimentales <sup>a</sup>					
	Position											
	1 <sup>b</sup>	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	50	55	41	38	35	28	50	40	44	43	26	31
2	35	26	19	28	26	26	27	30	30	24	33	27
3	27	39	30	31	35	32	29	36	30	22	32	31
4	16	26	31	37	27	29	26	28	29	27	33	26
5	27	25	35	26	20	37	27	16	26	29	35	23
6	37	22	28	20	36	26	42	24	30	32	26	19
7	36	27	23	30	39	26	32	30	37	34	37	30
8	23	30	33	27	34	25	33	24	23	29	16	29
9	27	39	31	27	28	25	23	30	26	24	29	28
10	23	25	40	35	21	25	30	24	32	26	27	25
11	31	27	30	27	24	38	23	31	33	20	27	26
12	41	27	25	22	39	27	33	42	32	33	26	36
13	31	35	29	31	28	26	30	26	29	25	35	29
14	23	33	30	33	19	25	34	29	26	34	29	23
15	24	29	34	31	30	35	29	30	23	28	35	27
16	29	31	23	26	32	33	22	27	19	30	29	29
17	33	23	28	31	27	40	24	33	30	30	26	29
18	35	22	30	31	26	33	28	29	29	35	22	37
19	27	34	35	44	39	39	22	35	36	39	41	59

<sup>a</sup> Test G non-significatif ( $p < .05$ ).

<sup>b</sup> 1, 2, 3 correspondant au mouvement d'abduction; 4, 5, 6 correspondant au mouvement d'adduction.

Tableau 8

## Analyse de la variance des erreurs de frappe

Source de variation	<u>DL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>
Sujet (S)	15	.389	
Tâche (T)	8	1.228	
Difficulté (D)	2	3.030	75.75 ***
Equivalence de tâche R(D)	6	.628	15.69 ***
T x S	120	.040	
Condition (C)	1	.225	3.48
C x S	15	.064	
D x C	2	.116	4.65 *
R (D) x C	6	.036	1.43
T x C x S	120	.025	
Orientation (O)	1	.244	8.83 **
O x S	15	.028	
D x O	2	.351	14.07 ***
R (D) x O	6	.044	1.74
T x O x S	120	.025	
C x O	1	.007	.42
C x O x S	15	.017	
T x C x O	8	.025	1.13
T x C x O x S	120	.022	

\*  $p < .05$ \*\*  $p < .01$ \*\*\*  $p < .001$



Tableau 9

Test de Scheffé sur les erreurs de frappe  
pour les 9 tâches et l'indice de difficulté

Comparaison	$\Sigma_c$	CM	F'
2.1 + 2.2 + 2.3 / 4.1 + 4.2 + 4.3	6	0.15	3.84
2.1 + 2.2 + 2.3 / 6.1 + 6.2 + 6.3	6	5.29	132.16 **
4.1 + 4.2 + 4.3 / 6.1 + 6.2 + 6.3	6	3.64	90.95 **
2.1 / 2.2	2	.04	1.04
2.1 / 2.3	2	.18	4.62
2.2 / 2.3	2	.05	1.28
4.1 / 4.2	2	.21	5.25
4.1 / 4.3	2	.38	9.50
4.2 / 4.3	2	.03	.63
6.1 / 6.2	2	1.17	29.18 **
6.1 / 6.3	2	3.12	77.88 **
6.2 / 6.3	2	.47	11.71

\*\*  $p < .01$

Tableau 10

Analyse de la variance de l'erreur algébrique temporelle de la frappe

Source de variation	<u>DL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>
Sujet (S)	15	5641.54	
Tâche (T)	8	3237.68	
Difficulté (D)	2	3958.14	14.13 ***
Equivalence de tâche R (D)	6	2997.52	10.70 ***
T x S	120	280.18	
Condition (C)	1	950.44	2.10
C x S	15	451.62	
D x C	2	98.68	.83
R (D) x C	6	60.97	.51
T x C x S	120	119.17	
Orientation (O)	1	74.61	1.21
O x S	15	61.80	
D x O	2	87.89	5.06 **
R (D) x O	6	10.91	.63
T x O x S	120	17.36	
C x O	1	23.56	3.47
C x O x S	15	6.79	
T x C x O	8	23.22	2.20 *
T x C x O x S	120		

\*  $p < .05$ \*\*  $p < .01$ \*\*\*  $p < .001$

Tableau 11  
 Test de Scheffé sur l'erreur algébrique temporelle  
 pour les 9 tâches et l'indice de difficulté

Comparaison	$\Sigma_c$	CM	F'
2.1 + 2.2 + 2.3 / 4.1 + 4.2 + 4.3	6	687.80	2.45
2.1 + 2.2 + 2.3 / 6.1 + 6.2 + 6.3	6	3,662.52	13.07
4.1 + 4.2 + 4.3 / 6.1 + 6.2 + 6.3	6	7,524.63	28.86 **
2.1 / 2.2	2	1.52	.01
2.1 / 2.3	2	2,355.18	8.41
2.2 / 2.3	2	2,237.00	7.98
4.1 / 4.2	2	2,819.70	10.06
4.1 / 4.3	2	7,816.50	27.90 **
4.2 / 4.3	2	1,246.80	4.45
6.1 / 6.2	2	1,317.28	4.70
6.1 / 6.3	2	6,961.06	24.84 **
6.2 / 6.3	2	2,222.04	7.93
4.1 / 6.3	2	19,818.02	70.73 **
2.1 / 4.3	2	1,822.15	6.50

\*\*  $p < .01$

Tableau 12

Analyse de la variance de l'erreur quadratique temporelle moyenne de la frappe

Source de variation	<u>DL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>
Sujet (S)	15	3163.13	
Tâche (T)	8	1131.41	
Difficulté (D)	2	271.51	2.33
Equivalence de tâche R (D)	6	1418.05	12.16 ***
T x S	120	116.58	
Condition (C)	1	2162.25	13.42 **
C x S	15	161.15	
D x C	2	21.14	.43
R (D) x C	6	43.78	.88
T x C x S	120	49.69	
Orientation (O)	1	84.49	3.50
O x S	15	24.17	
D x O	2	11.60	1.45
R (D) x O	6	22.09	2.77 *
T x O x S	120	7.99	
C x O	1	60.84	5.18 *
C x O x S	15	11.75	
T x C x O	8	7.87	1.19
T x C x O x S	120	6.62	

\*  $p < .05$ \*\*  $p < .01$ \*\*\*  $p < .001$

Tableau 13

Test Tukey (a) sur le facteur équivalence de tâche pour  
l'erreur quadratique temporelle moyenne

Comparaison	DL	$\underline{CM}_c$	$q(a)$
2.1 / 2.2	1	56.96	.66
2.1 / 2.3	1	298.24	3.45
2.2 / 2.3	1	241.92	2.80
4.1 / 4.2	1	488.96	5.66 **
4.1 / 4.3	1	743.68	8.61 **
4.2 / 4.3	1	254.72	2.95
6.1 / 6.2	1	293.76	3.40
6.1 / 6.3	1	645.76	7.48 **
6.2 / 6.3	1	352.00	4.08

\*\*  $p < .01$

Tableau 14

## Analyse de la variance des temps de réaction

Source de variation	<u>DL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>
Sujet (S)	15	183,160.71	
Tâche (T)	8	3,680.71	
Difficulté (D)	2	2,934.03	2.41
Equivalence de tâche R (D)	6	3,929.60	3.22 **
T x S	120	1,218.74	
Condition (C)	1	5,384,622.72	228.56 ***
C x S	15	23,558.98	
D x C	2	2,694.32	4.01 *
R (D) x C	6	3,056.12	3.32 **
T x C x S	120	920.76	
Orientation (O)	1	693.25	1.15
O x S	15	601.14	
D x O	2	242.64	.48
R (D) x O	6	463.73	.92
T x O x S	120	503.20	
C x O	1	1,242.88	2.35
C x O x S	15	529.06	
T x C x O	8	584.94	1.04
T x C x O x S	120	564.83	
Position (P)	2	10,160.19	3.56 *
P x S	30	2,853.03	

Suite à la page suivante

Tableau 14 (suite)

Source de variation	<u>DL</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>
D x P	4	587.51	1.08
R (D) x P	12	658.51	1.21
T x P x S	240	542.48	
C x P	2	29,924.67	9.38 ***
C x P x S	30	3,191.35	
T x C x P	16	521.06	.95
T x C x P x S	240	551.11	
O x P	2	86.93	.18
O x P x S	30	496.59	
T x O x P	16	552.09	1.18
T x O x P x S	240	469.05	
C x O x P	2	345.19	.50
C x O x P x S	30	686.24	
T x C x O x P	16	322.87	.77
T x C x O x P x S	240	421.80	

\*  $p < .05$ \*\*  $p < .01$ \*\*\*  $p < .001$

Tableau 15  
Test de Scheffé sur les temps de réaction pour  
le facteur équivalence de tâche

Comparaison	$\Sigma_c$	<u>CM</u>	<u>F'</u>
2.1 + 2.2/2.3	6	4780.47	3.92
4.1 + 4.2/4.3	6	2276.82	1.87
6.1 + 6.2/6.3	6	205.57	.17



## ANNEXE B

### Estimation des probabilités

Formulation de la probabilité de réussir la tâche de frappe  
à l'essai  $x$  selon la loi géométrique

$$p = (1-p)^{x-1} \cdot p$$

Formulation particulière tronquée

où  $x$  est le nombre d'essai ( $s$ ) nécessaire ( $s$ ) pour réussir la tâche

$$(1-p)^0 \cdot p$$

$$x = 1$$

Probabilité de réussir la tâche au 1<sup>er</sup> essai.

$$(1-p)^1 \cdot p$$

$$x = 2$$

Probabilité de réussir la tâche au 2<sup>e</sup> essai.

$$(1-p)^2 \cdot p$$

$$x = 3$$

Probabilité de réussir la tâche au 3<sup>e</sup> essai.

$$(1-p)^3$$

$$x = 4^+$$

Probabilité de réussir la tâche en 4 essais ou plus (troncature de la loi géométrique).

Formulation de la probabilité de réussir la tâche de frappe  
avec  $x$  erreurs de frappe selon la loi binômiale tronquée

$$P = \binom{40}{x} p^{40-x} \cdot (1-p)^x$$

Formulation de la loi binômiale,

$$\frac{40!}{(40-x)! x!} \cdot p^{40-x} \cdot (1-p)^x$$

où le nombre de frappes par essai est 40 et où  $x$  est le nombre d'erreurs de frappe/essai.

$$\frac{40!}{40! 0!} \cdot p^{40}$$

$$x = 0$$

Probabilité de ne faire aucune erreur de frappe dans l'essai.

$$\frac{40!}{39! 1!} \cdot p^{39} \cdot (1-p)^1$$

$$x = 1$$

Probabilité de faire une seule erreur de frappe dans l'essai.

$$\frac{40!}{38! 2!} \cdot p^{38} \cdot (1-p)^2$$

$$x = 2$$

Probabilité de faire deux erreurs de frappe dans l'essai.

$$\frac{40!}{37! 3!} \cdot p^{37} \cdot (1-p)^3$$

$$x = 3$$

Probabilité de faire trois erreurs de frappe dans l'essai.

$$\frac{40!}{36! 4!} \cdot p^{36} \cdot (1-p)^4$$

$$x = 4$$

Probabilité de faire quatre erreurs de frappe dans l'essai.

$$\sum_{i=5}^{40} \binom{40}{i} \cdot p^{40-i} \cdot (1-p)^i$$

$$x = 5^+$$

Probabilité de faire plus de quatre erreurs de frappe dans l'essai (troncature de la loi binômiale).

## NOTES DE REFERENCE

1. Brown, I. D. Criticisms of time-sharing techniques for the measurement of perceptual-motor difficulty. Proceedings of the XVII<sup>th</sup> International Congress of Applied Psychology, Amsterdam: Swets & Zeitlinger, 1969.
2. Girouard, Y., Vachon, L. & Dessureault, J. Attention exigée lors de l'exécution d'une tâche sportive: Problématique et Méthodologie d'analyse. Communication présentée au 45<sup>e</sup> Congrès Annuel de l'ACFAS, Université du Québec à Trois-Rivières, mai 1977.
3. Posner, M. I. & Keele, S. W. Attention demands of movements. Proceedings of the XVII<sup>th</sup> International Congress of Applied Psychology, Amsterdam: Swets & Zeitlinger, 1969.
4. Girouard, Y., Vachon, L. & Perreault, R. Do Walking and running require attention to be performed? Paper presented at the Annual Convention of the Canadian Association of Sport Sciences, University of Western Ontario, January 1979 (a).
5. Girouard, Y., Perreault, R., Black, F. & Vachon, L. Marcher et courir exigent de l'attention: une corroboration. Communication présentée au 47<sup>e</sup> Congrès Annuel de l'ACFAS, Université de Montréal, mai 1979 (c).
6. Girouard, Y., Perreault, R., Vachon, L. & Black, P. Attention Demands of High Jumping. Paper presented at the Annual Convention of The Canadian Association of Sport Sciences, University of western Ontario, January 1979 (b).
7. Laurencelle, L. 6ième Lettre Statistique. Université du Québec à Trois-Rivières, janvier 1981.

## REFERENCES

- Anscombe, F. J. The transformation of Poisson, binomial and negative binomial data. Biometrika, 35, 1948, 246-254.
- Bainbridge, L. & Sanders, M. The generality of Fitts's law. Journal of Experimental Psychology, 1972, 96, 130-133.
- Carlton, L. G. Processing visual feedback information for movement control. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1981, 7, 1019-1030.
- Crossman, E.R.F.W., the speed and accuracy of simple hand movements. In: Crossman, E.R.F.W. & Seymour, W.D. The Nature and Acquisition of Industrial Skills. Report to M. R. C. and D. S.I.R. Joint Committee on Individual Efficiency in Industry, 1957: cité in: Welford, A.T. Fundamental of Skills. Frome and London: Methuen & Co., 1968.
- Ells, J. G. Analysis of temporal and attentional aspects of movement control. Journal of Experimental Psychology, 1973, 99, 10-21.
- Falkenberg, L. E. & Newell, K.M. Relative contribution of movement time, amplitude, and velocity to response initiation. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1980, 6, 760-768.
- Fitts, P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of Experimental Psychology, 1954, 47, 381-391.
- Fitts, P.M. & Peterson, J.R. Information capacity of discrete motor responses. Journal of Experimental Psychology, 1964, 67, 103-112.
- Fitts, P.M. Perceptual-Motor Skill Learning. In: A.W. Melton (Ed), Categories of Human Learning. Academic Press, New-York, 1964.
- Fitts, P.M. & Radford, B.K. Information capacity of discrete motor responses under different cognitive sets. Journal of Experimental Psychology, 1966, 71, 475-482.

- Girouard, Y. L'attention et l'acquisition de l'habilité motrice. In: C.H. Nadeau, W.R. Halliwell, K.M. Newell & G.C. Roberts, (Eds.), Psychology of Motor Behavior and Sport, 1979. Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc., 1980.
- Hay, L. The effect of amplitude and accuracy requirements on movement time in children. Journal of Motor Behavior, 1981, 13, 177-186.
- Hayes, K.C. & Marteniuk, R.G. Dimension of motor task complexity. In: G.E. Stelmach, (Ed.), Motor Control, Issues and Trends. Academic Press, New-York, 1976.
- Jagacinski, R.J., Hartzell, J.E., Ward, S., Bishop, K. Fitts' Law as a function of system dynamics and target uncertainty. Journal of Motor Behavior, 1978, 10, 123-131.
- Kahneman, D. Attention And Effort. Englewood Cliffs, New-Jersey, Prentice-Hall, 1973.
- Kantowitz, B.H. & Knight, J.L. When an easy task difficult and vice-versa? A reply to lane. Acta Psychologica, 1978a, 42, 163-170.
- Kantowitz, B.H. & Knight, J.L. Testing tapping time-sharing: Attention demands of movement amplitude and target width. In: G.E. Stelmach, (Ed.), Information Processing in Motor Control and Learning. Academic Press, New-York, 1978b.
- Keele, S.W. Movement control in skilled motor performance. Psychological Bulletin, 1968, 79, 387-403.
- Keele, S.W. & Posner, M.I. Processing of visual feedback in rapid movements. Journal of Experimental Psychology, 1968, 77, 155-158.
- Kerr, B.A. & Langolf, G.D. Speed of aiming movements. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1977, 29, 475-481.
- Klein, R.M. Attention and movement. In: G.E. Stelmach (Ed.), Motor Control, Issues and Trends. Academic Press, New-York 1976.
- Laberge, D. & Tweedy, J.R. Presentation probability and choice time. Journal of Experimental Psychology, 1964, 68, 477-81.

- Langolf, G.D., Chaffin, D.B. & Foulke, J.A. An investigation of Fitts' law using a wide range of movement amplitudes. Journal of Motor Behavior, 1976, 8, 113-128.
- Leavitt, J. Task difficulty. In: B.S. Rushall (Ed.), The Status of Psychomotor Learning and Sport Psychology Research. Darmouth, Nova Scotia: Sport Science Association, 1975, 12.1 - 12.20.
- McLeod, P. Does probe RT measure central processing demand? Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1978, 30, 83-89.
- McLeod, P. What can probe RT tell us about the attentional demands of movement? In: G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), Tutorials in Motor Behavior, North Holland Publishing Co., 1980.
- Newell, K.M. & Hoshizaki, L.E.F. Attention demands of movements as a function of their duration and velocity. Acta Psychologica, 1980, 44, 59-69.
- Richard, J.F. L'attention. P.U.F., coll. le psychologue, Paris, 1980.
- Salmoni, A.W., Sullivan, J.S. & Starkes, J.L. The attention demands of movements: a critique of the probe technique. Journal of Motor Behavior, 1976, 8, 161-169.
- Sheridan, M.R. A reappraisal of Fitts' Law. Journal of Motor Behavior, 1979, 11, 179-188.
- Singer, R.N. Motor learning and human performance, 2<sup>d</sup> ed., Macmillan Publishing Co., New-York, 1975.
- Sokal, R.R. & Rohlf, J.F. Biometry, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1969.
- Welford, A.T. Fundamentals of Skills, Frome and London: Methuen & Co., 1968.
- Welford, A.T. Speed and accuracy of movement and their changes with age. Acta Psychologica, 1969, 30, 3-15.