



HAL
open science

instructions verbales pour l'apprentissage dans une tâche d'anticipation-coïncidence

Julien Lagarde

► **To cite this version:**

Julien Lagarde. instructions verbales pour l'apprentissage dans une tâche d'anticipation-coïncidence. Sciences de l'Homme et Société. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2001. Français. NNT : . tel-00009557

HAL Id: tel-00009557

<https://theses.hal.science/tel-00009557v1>

Submitted on 21 Jun 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse

Présentée devant

L'UNIVERSITE PAUL SABATIER de TOULOUSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT D'UNIVERSITE

**SPECIALITE : SCIENCES ET TECHNIQUES DES ACTIVITES
PHYSIQUES ET SPORTIVES**

Par

Julien LAGARDE

**Instructions verbales pour l'apprentissage dans
une tâche d'anticipation- coïncidence**

Soutenue le 23 mars 2001 devant la commission d'examen :

Martinus BUEKERS, *Professeur, Université Catholique de Louvain, Rapporteur*

Emile ERBANI, *Maître de Conférence, Université Paul Sabatier Toulouse III, Co- Directeur*

Khaled FEZZANI, *Maître de Conférences, Université Paul Sabatier Toulouse III, Examineur*

Pierre PERRUCHET, *Directeur de Recherches CNRS, LEAD, Université de Bourgogne Dijon, Rapporteur*

Bernard THON, *Professeur, Université Paul Sabatier Toulouse III, Directeur de thèse*

Laboratoire Acquisition et Transmission des Habiletés Motrices

E.A. 0244

UFR STAPS, Université Paul Sabatier Toulouse III

118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 4

France

SOMMAIRE

INTRODUCTION **1**

CHAPITRE I : DEFINITIONS **3**

1.1 Définition des instructions comme actes de discours	3
1.2 Description verbale des actions	5
1.3 Problèmes spécifiques posés par la nécessité d'une acquisition pour optimiser l'exécution de la tâche	6
1.4 Langage et action	9
1.5 L'hypothèse de l'orientation de l'attention et de l'intention	13
1.6 Les instructions sur le mouvement	14
1.7 Les instructions sur les régularités de la situation : la référence à la distinction entre apprentissage implicite et explicite	15

CHAPITRE II : APPRENTISSAGE PAR LA DECOUVERTE **17**

2.1 Origines des travaux sur l'apprentissage par la découverte	17
2.2 L'acquisition guidée ou par la découverte d'habiletés motrices	18
2.3 Le cas de l'apprentissage de séquences de manipulation d'objets	19
2.4 Les instructions sur les stratégies d'apprentissage	20
2.5 Apprentissage par la découverte et apprentissage avec des instructions verbales pour l'acquisition de nouvelles coordinations motrices	23
2.6 Conclusion	33

CHAPITRE III : APPRENTISSAGE IMPLICITE ET EXPLICITE **34**

3.1 Présentation	34
3.2 Critères pour la distinction des apprentissages implicite et explicite	35
3.3 Trois paradigmes principaux	36
3.4 Les travaux initiaux de Reber	38
3.5 Les travaux de Broadbent et collaborateurs	39
3.6 Effets des instructions sur le mouvement	41
3.8 Développements récents dans la distinction entre apprentissage implicite et explicite	51
3.9 Conclusion	61

CHAPITRE IV : PROBLEMATIQUE GENERALE DES EXPERIENCES **64**

CHAPITRE V : EXPERIENCE 1 **66**

5.1 Objectifs de l'expérience	66
5.2 Méthode	67
5.3 Résultats	75
5.3.1 Résultats lors de l'acquisition	75
5.3.2 Résultats lors du transfert	77
5.3.3 Questionnaire d'explicitation	79
5.4 Discussion	80

CHAPITRE VI : EXPERIENCE 2 **83**

6.1 Objectifs de l'expérience	83
6.2 Méthode	83
6.3 Résultats	85
6.3.1 Résultats lors de l'acquisition	85
6.3.2 Résultats lors du transfert	86
6.3.3 Questionnaire d'explicitation	88
6.4 Discussion	88

CHAPITRE VII : EXPERIENCE 3 **90**

7.1 Objectifs de l'expérience	90
7.2 Méthode	91
7.3 Résultats	93
7.3.1 Résultats lors de l'acquisition	93
7.3.2 Résultats lors du transfert	95
7.3.3 Questionnaire d'explicitation	96
7.4 Discussion	97
7.5 Conclusion générale des expériences 1, 2 et 3	97

CHAPITRE VIII : EXPERIENCE 4 **100**

8.1 Objectifs de l'expérience	100
8.2 Méthode	103
8.3 Résultats	110
8.3.1 Résultats de l'analyse des erreurs spatiales	111
8.3.2 Résultats de l'analyse des profils de vitesse dans l'acquisition	122
8.4 Discussion	127

CHAPITRE IX : EXPERIENCE 5 **133**

9.1 Objectifs de l'expérience	133
9.2 Méthode	135
9.3 Résultats	141
9.3.2 Résultats lors des 160 essais de l'acquisition qui suivent la communication des instructions au groupe Instructions mi-parcours	143

9.3.3 Résultats lors de la transition entre le Bloc 10 d'acquisition et le Bloc test dénué de régularités probabilistes.	146
9.4 Discussion	149
<u>CHAPITRE X : DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES</u>	154
10.1 Nature de l'aide à l'acquisition des régularités apportée par les instructions verbales	156
10.2 Nature des effets des instructions sur l'apprentissage de régularités probabilistes	160
10.3 La relation entre le moment de communication des instructions et l'exploration de la tâche par l'apprenti	163
10.4 La production des instructions	164
10.5 Perspectives théoriques pour l'étude des relations langage-action	168
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	171

Introduction

L'objet de ce travail est l'étude de la nature des effets des instructions verbales sur l'apprentissage. L'étude des instructions verbales constitue un domaine de recherche vaste qui met en relation les activités langagières et les activités de perception et d'action sur le monde physique. Les instructions verbales ont fait l'objet de travaux publiés dans des revues de psychologie cognitive et de psycholinguistique, s'attachant à décrire et à modéliser trois étapes de leur traitement cognitif : la compréhension, la planification, et l'exécution (Dixon, 1982, 1987a, 1987b ; Heurley, 1994). Ces travaux ont porté sur des documents aussi variés que (1) les notices d'assemblages, (2) les notices médicamenteuses, (3) la description d'itinéraire, (4) les recettes de cuisine, (5) les manuels d'utilisation de logiciels informatiques, documents qui ont été désignés par les termes d'instructions, de textes procéduraux, de discours procéduraux ou encore de consignes (Heurley, 1994 ; Pascual, Nespoulous & Virbel, 1997). Ces textes ou discours sont hétérogènes sur le plan de la forme, mais pas de l'intention communicative de leur producteur : ils ont en commun une visée pragmatique qui peut être résumée comme « faire faire quelque chose à quelqu'un » (Heurley, Garcia-Debanç, & Veyrac, 1998).

Comme nous le verrons, les déterminants de la réussite ou de l'échec de ce type particulier de communication sont encore très mal connus. Dans cette thèse sont étudiés les effets des instructions sur l'apprentissage dans des tâches qui engagent une action motrice que l'individu ne peut réaliser avec succès immédiatement et nécessite une pratique répétée pour une optimisation de la performance. Les travaux disponibles qui seront présentés dans le cadre théorique de cette thèse sur les effets des instructions concernent deux grandes catégories de tâches : les tâches qui requièrent l'acquisition d'une nouvelle coordination motrice et les tâches qui requièrent l'acquisition de régularités présentes dans l'environnement afin d'anticiper l'action à réaliser.

Les travaux qui ont été réalisés dans ce domaine s'appuient souvent sur une séparation entre les activités langagières et les activités de perception et d'action, qui expliquerait à la

fois les difficultés relevées dans la capacité à verbaliser l'action et l'inefficacité fréquente des instructions verbales pour l'apprentissage. Cette conception générale des relations entre langage et action se retrouve sous des formes diverses dans deux types de travaux, qui distinguent d'une part l'apprentissage guidé et l'apprentissage par la découverte et, d'autre part, l'apprentissage par des instructions verbales (explicites) et l'apprentissage implicite. L'objectif de cette thèse est d'analyser les apports de ces théories pour l'étude des instructions verbales et d'apporter une contribution expérimentale qui précise les conditions d'efficacité des instructions et la nature de leurs effets sur l'apprentissage.

Le premier chapitre de ce document vise à délimiter le champ conceptuel de notre étude et à analyser les relations entre langage et action. Le second aborde la distinction entre l'apprentissage par instructions et l'apprentissage par la découverte. Dans le troisième chapitre sera examinée la distinction entre un apprentissage implicite et un apprentissage explicite. À l'issue de cette revue de la littérature, une contribution expérimentale à l'étude des effets des instructions verbales sur l'apprentissage de régularités environnementales est présentée dans les chapitre 4, 5, 6, 7 et 8. Enfin, une conclusion générale clôt cette thèse par une discussion des résultats recueillis et des perspectives de recherches sur les effets des instructions verbales.

Chapitre I

Définitions

1.1 Définition des instructions comme actes de discours

La définition des instructions adoptée dans ce travail provient de l'analyse des instructions comme actes de langage (Virbel, 1995, 1997, 1998). Dans le cadre choisi par Virbel, une recherche de définition revient à analyser le type d'actions communicationnelles qui peuvent être réalisées par l'exercice du langage dans le cas particulier des instructions. Ce questionnement consiste à détailler quels types d'actes de discours caractérisent les instructions. Un tel travail de linguistique se situe dans le cadre de l'étude de la pragmatique en prolongement des recherches menées par Austin (1970), puis par Searle (1972), qui défendaient la position selon laquelle la signification et la communication doivent être comprises dans un cadre social (Searle, 1972, page 114). Au sein de cette approche, la signification de l'énoncé ne peut être réduite à un contenu conceptuel indépendant ; et les effets de l'énonciation, autrement dit les répercussions de l'énoncé sur la situation du discours, sont à prendre en compte pour décrire cette signification (Ducrot, préface de Searle, 1972).

Tout d'abord il faut considérer que les instructions constituent principalement un type d'acte de discours directif, qui vise à faire faire une action à quelqu'un. Mais un acte de discours directif peut être réalisé suivant des modalités distinctes, suivant surtout les obligations contractées par l'un ou par l'autre des locuteurs. On dénombre en français une quarantaine de types de directifs désignés par des verbes tels que : ordonner, commander, suggérer etc... Il semble tenable de classer ce type d'actes selon quatre groupes de verbes, les

requêtes (prier, supplier, solliciter), le fait de poser des questions, le groupe dérivant de « dire de » (ordonner, commander, défendre, interdire), et le groupe des conseils (suggestions, recommandations) (Virbel, 1999). Soulignons qu'une composante importante dans l'accomplissement de ce type d'acte de discours réside dans l'existence ou non d'une option de refus offerte à celui qui reçoit la consigne. Une précision à ajouter est aussi que dans l'acte de discours accompli en énonçant une instruction, l'émetteur veut que le receveur accomplisse une action, mais de plus il veut qu'il l'accomplisse grâce à l'instruction. De cette précision découle le fait que les instructions doivent constituer une aide à l'accomplissement de l'action.

Un autre aspect important est que les instructions par leur nature d'aide à l'activité contiennent des assertions au futur, le terme-assertion étant entendue ici au sens de mention sur l'état du monde (Virbel, 1999). Enfin les instructions peuvent constituer une forme de contrat, celui qui énonce la consigne s'engageant sur la réussite de celui qui la reçoit en cas d'acceptation de sa part, ce qui introduit la dimension de garantie dans l'acte de communication, empruntée à la catégorie des actes promissifs.

En résumé, nous retenons de l'analyse de Virbel plusieurs dimensions qui nous semblent très importantes pour l'étude des effets des instructions sur l'apprentissage : la notion d'aide à l'action, d'option de refus, d'assertion au futur, et de garantie.

Il résulte de cette analyse que les instructions sont un type d'acte de discours directif, qui visent à aider la réalisation d'une tâche par le destinataire. Il est donc clair dans ce cadre que communiquer une instruction n'équivaut pas totalement à prescrire une tâche, mais plutôt à formuler un conseil ou une aide.

Cette définition préalable permet de situer les effets des instructions verbales sur l'apprentissage. Comme nous le verrons dans l'analyse de la littérature, une question d'ordre général qui se pose pour l'apprentissage porte sur la nécessité ou l'utilité des instructions verbales. Dans le cadre que nous adoptons, les instructions constituent donc une contrainte optionnelle parmi l'ensemble des contraintes inhérentes à l'interaction de l'individu avec l'environnement physique dans l'apprentissage.

1.2 Description verbale des actions

1.2.1 Action et/ ou situation

D'un point de vue linguistique, les instructions ont été assimilées à un type de description d'actions (Adams, 1992, cité par Heurley, Garcia-Debanc, & Veyrac, 1998). La description des actions revêt quelques particularités. Elle peut tout d'abord s'opérer à partir de deux types de références, une référence à l'action, par exemple par la dénotation au moyen d'un verbe d'action comme « tirez », ou bien une référence indirecte aux conséquences de l'action, ou encore à des propriétés du monde ou des connaissances qui facilitent l'action. Cette référence indirecte peut s'opérer par dénotation d'un objet (« entrée » ou « pelouse interdite »), ou d'une propriété d'un objet (« haut/ bas » ou « fragile ») (Virbel, 1999).

Cette précision permet de concevoir que les instructions puissent d'une part décrire le mouvement et d'autre part décrire des caractéristiques de la situation qui concernent l'action. La description des régularités des stimuli présents dans l'environnement communiquée à un apprenti est un exemple d'instruction sur la situation qui sera largement discutée dans cette thèse.

1.2.2 Décomposition et spécification des phrases d'action

Le deuxième aspect important des descriptions verbales d'actions relève de la décomposition et de la spécification de ces actions. La décomposition constitue le découpage d'une action en actions élémentaires et détermine la granularité de la description, alors que la spécification réside dans la possibilité d'ajouter des objets ou des acteurs ou encore des attributs de lieu et de temps à la phrase. Le fait remarquable est qu'une analyse syntaxique des phrases d'action composées autour d'un verbe d'action, le prédicat, montre par l'ajout d'arguments comme des déterminants et adverbes qu'une infinité de variations est possible. À travers l'exemple exposé par Virbel (1999, pp. 29-33), on constate que le verbe d'action prédicat « manger » se complète par deux arguments « Luc » et « gâteau » dans la phrase d'action « Luc mange le gâteau » ; Mais peuvent être ajoutés les arguments « cuillère », « salon » etc... Il résulte de cette analyse que la spécification de l'action et sa décomposition ne sont pas limitées par des règles de la langue (Davidson, 1980, cité par Virbel, 1999). Précisons qu'au-delà d'une analyse syntaxique, la détermination des arguments possibles dans une langue pour un prédicat donné peut être utilisée pour l'analyse sémantique des énoncés (pour une présentation, voir LeNy, 1979).

Notons qu'une composante importante de la production des instructions réside dans le choix du niveau de granularité de la description de l'action. Ce choix relève de l'expertise référentielle du producteur des instructions.

1.3 Problèmes spécifiques posés par la nécessité d'une acquisition pour optimiser l'exécution de la tâche

La caractéristique essentielle qui distingue de nombreux travaux et l'objet de cette thèse provient de la nature des actions étudiées relativement à l'expérience de l'individu. Dans les travaux réalisés en psycholinguistique les tâches expérimentales utilisées sont composées d'une séquence d'actions élémentaires dont l'exécution par le sujet ne requiert pas d'habileté spécifique. La tâche du sujet est de mémoriser et d'exécuter la séquence des actions qui composent la procédure globale. Les variables mesurées lors des expériences portent sur le temps de lecture des instructions, la mémorisation, le nombre d'éléments rappelés qui étaient présents dans les instructions et les temps d'exécution des tâches décrites. Les résultats recueillis ont permis de préciser les conditions d'efficacité des textes procéduraux pour l'exécution de ces tâches et de modéliser les traitements cognitifs engagés.

Les recherches ont consisté à comprendre comment la compréhension d'une représentation externe verbale pouvait guider l'exécution d'une procédure. Une procédure peut être définie dans ce cadre comme « la suite organisée des actions permettant d'atteindre le but poursuivi » (Georges, 1988, p.110). Le point de départ de ces travaux était constitué par les études psycholinguistiques de la compréhension de récits (Kintsch & van Dijk, 1978). Pour prendre en compte la pertinence des instructions, à l'étape initiale de compréhension du texte a été ajoutée une étape de planification (Dixon, 1982, 1987a, 1987b). C'est ce processus de planification qui, dans cette approche, réalise le passage d'une représentation déclarative issue du contenu propositionnel du texte à la représentation procédurale que constitue le plan (Ganier, 1999 ; Heurley, 1994). Etant donnée la nature des tâches étudiées, l'exécution motrice du plan est réalisée par la particularisation de la procédure en actions composantes, jusqu'à l'atteinte du niveau minimal de décomposition désigné par le terme de primitives (Baudet & Cordier, 1992 ; Denhière & Baudet, 1992 ; Desclés, Kekenbosch, Meunier, & Richard, 1998 ; Graesser, 1978 ; Kekenbosch, Desclés, Meunier, Richard, & Flageul, 1998 ;

Nespoulous, Heurley, Puel, Dupleich, Virbel, & Evrard, 1999 ; Richard, 1990 ; Sébilotte, 1991). Ces primitives sont directement exécutables et ne requièrent pas d'acquisition préalable pour réaliser la tâche considérée, et de plus, la tâche prescrite ne comprend pas la recherche d'une optimisation des performances par une pratique répétée. Des exemples d'instructions illustrent la nature des tâches utilisées, tant l'instruction étudiée par Dixon (1987a) « appuyez sur le bouton B lorsque le voyant X s'allume », que l'instruction « dessinez un long rectangle avec deux cercles au-dessous » (Dixon, 1987b). Il faut souligner que le but prescrit concernait la seule exécution de l'ensemble de la procédure et non pas une réalisation la plus rapide possible ou encore la plus précise possible.

Dans ces études, les tâches et la théorie des procédures utilisées concordent. Le modèle des procédures utilisé propose deux types de relations entre composants : des relations hiérarchiques et des relations séquentielles. Une procédure comme « préparer un jus d'orange » se compose d'actions principales et secondaires (Nespoulous *et al.*, 1999). Dans l'exemple choisi l'action « couper l'orange » est principale. Les actions secondaires sont considérées du point de vue d'un modèle de la planification, elles constituent d'une part les pré-conditions aux actions principales (nécessaires à l'exécution des actions principales) et les post-conditions qui permettent de passer à l'action principale suivante (Evrard & Virbel, 1989 ; 1990). A titre d'exemple des résultats de ces recherches ont montré à partir l'analyse des temps de lecture que l'ordre des actions dans le discours procédural devait être identique à l'ordre du déroulement des actions dans l'exécution pour faciliter les activités de compréhension et de planification, (Dixon, 1982).

Les travaux réalisés en psycholinguistique peuvent apparaître dans un premier temps au moins peu utiles pour aborder notre étude. L'objet de cette thèse est d'étudier l'influence des instructions sur l'apprentissage d'un nouveau mouvement ou de régularités environnementales pour anticiper la réalisation du mouvement. Dans ce cadre, une acquisition est nécessaire pour permettre le succès de l'exécution de tâches dont la difficulté ne provient pas de la mémorisation d'actions élémentaires et de leur ordre, mais du fait que le sujet ne dispose pas des « primitives » d'action nécessaires et doit donc avoir recours à la répétition des exécutions de la tâche pour améliorer ses performances.

L'influence des instructions verbales sur l'acquisition d'habiletés motrices ne peut donc pas être étudiée seulement à l'aide d'une théorie de la planification. Il découle de la nature des tâches étudiées, relativement à l'expérience de l'individu, que l'exécution pas à pas

des instructions ne permet pas l'atteinte du but recherché. Cette atteinte du but n'étant possible qu'à travers une pratique répétée de la tâche.

Ce point a parfois été évoqué dans les approches psycholinguistiques où il est avancé que les instructions décrivent les actions de façon générale, et qu'une particularisation est nécessaire pour compléter la procédure (Richard, 1994). Mais le « complément » des instructions dans le but d'optimiser la performance semble provenir nécessairement d'une confrontation avec l'environnement physique afin d'établir une solution qui permet de satisfaire aux contraintes de la tâche.

Mais l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices demande une modification plus importante du statut des instructions verbales. Dans le cadre psycholinguistique, l'acquisition est souvent considérée comme le passage d'une représentation initiale déclarative de la procédure à la représentation procédurale de cette procédure (Anderson, 1982 ; 1987). En accord avec cette théorie, le traitement des instructions constitue le point de départ de l'acquisition (Ganier, 2000 ; Heurley, 1994). L'apprentissage consisterait en la réduction par un processus de compilation du nombre d'étapes de traitement réalisées par la mémoire de travail lors de l'exécution de la tâche (Anderson, 1982 ; 1987). Dans le contexte de l'apprentissage moteur, cette représentation déclarative initiale est décrite comme « une idée générale » du mouvement (Gentile, 1972), qui prendrait place dans un stade initial verbal-moteur de l'apprentissage (Adams, 1971).

Pour l'objet qui nous concerne, l'idée d'étapes successives d'acquisition est aussi évoquée mais seulement pour décrire l'acquisition à un niveau très général comme la proposition de trois étapes successives, cognitive, associative, puis autonome (Fitts, 1964). Dans cette théorie, la description de l'acquisition est centrée sur la phase associative, qui réalise le passage d'associations directes entre stimuli et réponses à des connexions probabilistes entre des ensembles de stimuli et des ensembles de réponses, et aussi sur l'idée d'une réduction continue de l'investissement en attention. Dans ce cadre le concept d'automatisme est utilisé pour décrire les habiletés acquises et pour expliquer les modifications qui interviennent dans l'acquisition (Lee & Swinnen, 1993, p. 307). Cette automatisme se caractérise par une absence de régulation cognitive du mouvement et un faible coût en attention. Selon Fitts (1964) l'automatisme provient de la mise en place d'un traitement parallèle, alors que selon Adams (1971), l'automatisme est déterminée par une modification des traitements séquentiels impliqués dans l'exécution d'un programme moteur.

Selon une conception radicale de la programmation motrice, le programme moteur, une fois choisi, est exécuté de façon automatique (Keele, 1968).

Dans ce champ de recherche, l'hypothèse de la primauté d'une étape déclarative dans l'acquisition n'a pas donné lieu à des expérimentations spécifiques qui permettraient en particulier de préciser le rôle des instructions. L'étape initiale conçue comme verbale motrice est donc laissée « vierge » par les recherches réalisées, ce qui constitue un des points faibles de l'utilisation du concept d'automatisme (Philips & Hughes, 1988). Les chercheurs sur les habiletés motrices ont insisté au contraire sur le rôle de processus sensori-moteurs (Paillard, 1991), ou de coordinations motrices (Bernstein, 1967 ; Newell, 1991), sur les concepts de mémoire motrice, de programme moteur, de schéma moteur (Schmidt, 1975), d'informations non symboliques (Kelso, 1982) ou encore de connaissances implicites ou tacites (Glencross, 1993 ; Magill, 1998 ; Vereijken & Whiting, 1989). L'acquisition ne réside pas dans la simplification des étapes de traitement de la mémoire de travail (compilation) déduite d'une description de ces étapes dans les instructions, mais d'une poursuite du but de la tâche qui s'opère par une exploration autonome des solutions possibles. Cette position théorique vis-à-vis de l'apprentissage repose sur le fait que dans la plupart des tâches étudiées le but est atteint, ou bien les performances en regard du but sont optimisées, sans qu'une description de la solution soit nécessaire. Une démarche pour modifier ce point de vue largement accepté dans ce domaine de recherche consisterait à trouver des situations d'apprentissage dans lesquelles les sujets sont incapables de trouver des solutions de manière autonome.

1.4 Langage et action

Les relations entre les activités langagières et l'action motrice sont souvent présentées comme largement indirectes et souvent très réduites (Allard, Deakin, Parker, & Rodgers, 1993 ; Annet, 1986 ; Paillard, 1985). C'est ainsi que les connaissances qui peuvent être formulées sous forme verbale sont désignées comme des sous-produits de la performance habile ou experte et non comme des constituants (Allard, Deakin, Parker, & Rodgers, 1993 ; Williams & Davids, 1995). L'idée fréquemment défendue est que les connaissances qui peuvent être exprimées verbalement ne sont pas nécessaires à l'accomplissement de l'action. Annet défendait le modèle d'une séparation entre langage et action, la mise en relation de ces deux domaines d'activités exigeant la mise en œuvre d'opérations qui ne sont pas effectuées

dans le cours habituel de l'action (Annet, 1986). Par exemple, Annet demandait à des sujets de décrire l'action habile qui consiste à nouer des lacets de chaussure et il montrait que la production de cette description n'était pas spontanée. Dans le même cadre de pensée, Paillard (1985) insistait sur une différence de nature entre des activités symboliques impliquées dans l'interaction sociale comme le langage, et les activités impliquées dans l'action qui mettent en jeu des processus sensori-moteurs. Paillard (1985) opposait notamment la grande flexibilité des processus symboliques et leur indépendance vis-à-vis de la dimension physique de la situation, à la dépendance de l'action motrice vis-à-vis de cette dimension physique. On retrouve une distinction similaire dans l'approche de la perception défendue par Gibson (1966) (Noble, 1993, ainsi que Verbrugge, 1985). Gibson séparait de façon absolument dichotomique une cognition perceptive, en relation spécifique et obligatoire avec l'environnement physique, et une cognition symbolique, reliée avec le monde physique sur la base de relations arbitraires et indirectes entre symboles et monde (Verbrugge, 1985). Une conception dichotomique entre perception et cognition symbolique était aussi à l'œuvre dans les propositions de Reber (1976) sur l'apprentissage implicite. Reber (1976) évoquait les lois de la gestalt relatives au regroupement perceptif de formes pour expliquer l'apprentissage de grammaires artificielles, assimilant l'apprentissage implicite à un apprentissage perceptif qui se met en place sans conscience et de façon incidente.

Ces conceptions des relations entre langage et action insistent sur l'absence de nécessité du langage pour le contrôle et l'acquisition dans des tâches motrices. Dans ce cadre les instructions verbales sont considérées comme des énoncés ayant une visée descriptive et non pas comme des énoncés produits pour obtenir un effet sur l'action du destinataire. Cette conception aboutit à considérer que le discours produit dans une visée procédurale est difficilement efficace. Si on pose comme préalable que les instructions imposent la collaboration des deux domaines d'activité isolés, leur efficacité ne peut être que très limitée.

1.4.1 Etudes des interactions langage-action

Des recherches initiées sur les relations entre langage et action permettent d'entrevoir que des liens dynamiques entre ces deux domaines peuvent s'établir (Vallacher & Wegner, 1987). Des données sont relevées en faveur de relations réciproques entre langage et mouvement plutôt qu'une pure dissociation, soit dans les effets d'amorçage sémantiques par des symboles qui étaient au préalable associés à des mouvements (Klatzky, McCloskey, Pellegrino, Lederman, 1993 ; Klatzky, Pellegrino, McCloskey, Doherty, 1988), soit dans

l'effet d'attributs sémantiques des objets cibles sur la cinématique de mouvements de préhension (Bennet, Thomas, Jervis, & Castiello, 1998 ; Jervis, Bennet, Lim, & Castiello, 1999 ; Richards, & Chiarello, 1997), soit encore dans les effets d'étiquettes verbales sur la cinématique des mouvements de préhension (Gentilucci, Benuzzi, Bertolani, Daprati, & Gangitano, 2000) et sur la mémorisation de mouvements (Reeve, 1983).

1.4.2 L'étude des instructions verbales pour le contrôle des expériences

Des recherches ont spécifiquement porté sur les effets des instructions verbales expérimentales afin de déterminer les meilleures méthodes pour l'étude du mouvement. Des travaux sur les instructions qui décrivent une stratégie pour exécuter un mouvement ont montré des effets complexes mesurés sur le mouvement, notamment en contraste avec des instructions du type [ne pas intervenir sur la réalisation du mouvement]. Des travaux indiquaient une variabilité accrue et une réduction de la corrélation entre les composants de l'effecteur du mouvement quand les instructions décrivaient la façon d'exécuter le mouvement (Latash, 1994 ; Latash, & Jaric, 1998). Mais il a été parfois relevé une modulation cohérente du mouvement par des instructions (Lee, Blandin, & Proteau, 1996). Des instructions verbales permettaient à des patients atteints de la maladie de Parkinson de normaliser les paramètres temporels et spatiaux de la marche (Behrman, Teitelbaum, Cauraugh, 1998).

1.4.3 Identification perceptive du mouvement

La question de la relation entre perception et langage est fondamentale pour comprendre comment peuvent fonctionner des instructions verbales. Il est nécessaire de préciser que la relation entre lexique et mouvement perçu doit s'appuyer sur la perception afin d'être reliée au monde physique. Les catégories sémantico-lexicales du discours doivent être choisies de façon stable et reproductible par celui qui produit les instructions à partir d'une perception de l'action effectuée par une autre personne. La fiabilité de la relation des mots au mouvement ou à l'action perçue est la base de l'expertise référentielle nécessaire à la communication dans ce contexte. On peut noter que la catégorie « marche » peut être choisie sans erreur pour désigner un patron de mouvements de points lumineux (Johansson, 1975). La stabilité d'une coordination bi-manuelle peut de même être perçue et identifiée de façon cohérente (Bingham, Schmidt, & Zaal, 1999). Le choix entre les catégories « marche » et « course » est correct lors de la perception visuelle d'une simulation graphique sur micro-ordinateur de la cinématique de la transition entre la marche et de la course (Hoencamp,

1978). Dans un autre exemple, il a été montré que le choix de catégories lexicales est pertinent quand il s'agit de percevoir des affordances pour une autre personne, la tâche demandée consistant à décider si un objet est adapté à une action donnée qui doit être réalisée par une autre personne, sur la base de la perception visuelle de la taille de cet objet et de cette personne (Stoffregen, Gorday, Sheng, Flynn, 1999).

Cependant il est parfois relevé dans la littérature une incohérence de l'identification visuelle, ce qui est présenté comme une dissociation entre perception pour agir et perception pour identifier, comme par exemple dans la perception monoculaire de la distance (Pagano & Bingham, 1998). Il a été montré que des instructions verbales ne modifiaient pas les effets de l'illusion perceptive dite de Müller-Lyer mesurés dans une tâche de reproduction graphique de stimuli visuels (Anii & Kudo, 1997). De manière anecdotique, Bahill & collaborateurs (Bahill & Laritz, 1984 ; Bahill & Karnavas, 1993) soulignaient que les entraîneurs de baseball donnent des instructions qui recommandent de suivre la balle des yeux alors qu'une analyse des comportements des joueurs montre que la vitesse angulaire de la balle est supérieure à la vitesse angulaire maximale des yeux.

Des exemples de perturbations de la perception experte par une verbalisation des stimuli précédant la tâche de reconnaissance ont été rapportés à plusieurs reprises (Schooler, Engstler-Schooler, 1990 ; Schooler, Ohlsson, Brooks, 1993). Les auteurs proposaient pour interpréter cet effet, dénommé « verbal overshadowing », que la verbalisation induisait une focalisation sur des composants isolés des stimuli et dégradait la perception des configurations. En d'autres termes, la description verbale aurait pour effet de focaliser l'attention sur des aspects spécifiques des stimuli (Fallshmore & Schooler, 1995). Cette conception des interactions entre langage et perception repose plus généralement sur l'hypothèse de l'existence d'une distinction entre une cognition verbale et une cognition non verbale (Fallshmore & Schooler, 1995), qui rappelle ce qui est proposé pour les processus sensori-moteurs (Annet, 1986 ; Paillard, 1985). Cependant, Fallshmore & Schooler (1995) rapportaient les résultats d'une étude qui montrait que la dégradation par le langage des performances perceptives n'était pas retrouvée pour des experts « perceptifs » pour qui la condition habituelle d'exécution de cette tâche de perception requiert la communication verbale (Melcher & Schooler, 1995). L'hypothèse d'une séparation « pure » entre une cognition verbale et une cognition non verbale semble donc infirmée quand le contexte, dans lequel l'expertise des sujets a été acquise préalablement à l'expérience, intègre la perception de stimuli comportant de nombreux composants et la communication verbale des résultats de cette perception. Ces derniers travaux montraient que l'aide que peut apporter le langage à la

performance dans des tâches dites non verbales n'est pas spontanée, mais que l'utilisation répétée du langage dans une tâche peut modifier les relations entre langage et performance. Cette démonstration va à l'encontre de l'hypothèse d'une dichotomie entre des processus verbaux « analytiques » et arbitraires, et des processus non verbaux « holistes » qui seraient en relation directe avec l'environnement physique. La limite de la validité de la relation entre description verbale et action peut provenir de la non nécessité de communiquer dans le cadre de l'exécution habituelle de la tâche, comme dans le cas de la réalisation des nœuds de lacets cité par Annet (1986).

1.5 L'hypothèse de l'orientation de l'attention et de l'intention

Il est apparu récemment que des instructions verbales pouvaient accélérer la mise en place de la sélection des informations pertinentes dans les stimuli et éviter le traitement des aspects redondants de ceux-ci (Haider & Frensch, 1996, exp. 1). Dans l'étude de l'apprentissage moteur, une instruction verbale est souvent considérée comme agissant à travers les intentions de celui qui apprend, en dirigeant son attention, sur des aspects particuliers de l'habileté ou de l'environnement (Magill, 1989 ; Newell & Mc Donald, 1992 ; Wulf, Mc Nevin, Fuchs, Ritter, & Toole, 2000). L'accent a été mis sur l'attention volontaire ou encore "intentions momentanées" selon la terminologie du modèle de Kahneman (1973). Cette vision des effets des instructions s'accorde avec le point de vue de la fonction du langage sur la cognition développée par Jackendoff (1996). Pour cet auteur, le langage sert surtout à focaliser l'attention et à individualiser les objets, l'attention étant ainsi l'intermédiaire par lequel le langage aide la cognition. D'autres auteurs ont défendu ce même point de vue au sein d'une approche écologique de la perception et du mouvement, dans le dessein de trouver une issue à l'opposition entre perception et utilisation de symboles défendue par Gibson (1966) (Noble, 1993 ; Verbrugge, 1985).

La position qui se dégage est que les instructions s'intègrent dans le processus d'apprentissage en déterminant l'intention de celui qui apprend. Cette position est défendue par des auteurs comme Gottlieb, Corcos & Agarwal (1989), Prinz (1990), Shaw, Kadar, & Sim, (1992), et Willingham, (1998). Gottlieb *et al.* (1989) appréhendaient les effets des instructions dans les recherches de laboratoire sur le mouvement dit volontaire comme une

détermination au moins partielle de la volonté du sujet¹. Les instructions sont conçues comme des intentions induites de l'extérieur, qui constituent des anticipations de buts et de moyens pour les atteindre (Shaw, Kadar, & Sim, 1992, p.7).

1.6 Les instructions sur le mouvement

Les instructions dirigerait ici l'attention de l'apprenti sur une partie de l'habileté motrice (Magill, 1998). Pour autant la modulation d'une composante ainsi provoquée ne peut bénéficier à l'acquisition qu'en s'accordant avec l'ensemble de l'habileté (Magill, 1989). Cette proposition est déduite de la position qui présente une habileté perceptivo-motrice comme l'organisation spatio-temporelle de sous-composants, position fondée notamment sur l'hypothèse d'une invariance temporelle relative entre les différentes phases du mouvement du corps (Viviani & Terzuolo, 1980, mais voir Gentner, 1987, pour une discussion) ou sur le concept de coordination (Bernstein, 1967 ; Kelso, 1995). Dans un ordre d'idée similaire, il est avancé que les instructions peuvent être la cause de confusions entre le but général de la tâche que le sujet pratique et le ou les sous-buts introduits par les instructions (Gentile, 1972).

Les instructions sont parfois présentées comme la mise en relation de la tâche actuelle à laquelle l'apprenti est confronté et des expériences passées avec d'autres tâches. Dans le cadre de l'acquisition de mouvements, les instructions fonctionnent comme des métaphores "holistes" relevées chez les enseignants ou les entraîneurs (Swinnen, 1996). Les instructions dénotent un pattern qui possède des caractéristiques structurales et dynamiques qui peuvent être appliquées à une nouvelle tâche (Verbrugge, 1985, p. 169). Quelques travaux expérimentaux ont montré les effets comportementaux de métaphores langagières sur l'exécution de mouvements en danse, mais pas dans le cadre de l'apprentissage (Hanrahan, Tréteau, & Sarrazin, 1995). On peut évoquer sur ce thème, dans l'étude de l'apprentissage de mouvements de danse que des instructions métaphoriques ajoutées à un modèle visuel des mouvements n'ont pas d'effet en comparaison d'un modèle seul et d'instructions descriptives ajoutées au modèle visuel (Laugier, 1995, exp. 3).

Dans le cas de l'acquisition de nouveaux patrons de coordination, Newell (1985) soulignait que les instructions initiales communiquées avant la pratique, au même titre qu'une

¹ « voluntary movements emerge from what a person « wants to do », which in experimental circumstances is, at least in part, what a person has been instructed to do » (Gottlieb *et al.*, 1989, p.190).

démonstration visuelle ou qu'une connaissance des résultats de l'action, sont à classer dans la catégorie des informations augmentées. Par définition ces informations augmentées ne sont pas disponibles quand le sujet est seul dans la situation d'apprentissage, et confèrent donc une dimension sociale à l'apprentissage (Annet, 1994). Gentile (1998) proposait que les instructions puissent s'avérer utiles pour décrire une stratégie globale de mouvement qui répondrait grossièrement aux contraintes de la tâche, autrement dit la forme générale ou la structure du mouvement. Par contre les instructions qui décriraient le contrôle de la dynamique des forces mises en jeu dans l'interaction avec l'environnement ne seraient pas bénéfiques à l'apprentissage. Ce contrôle, intervenant plus tard dans l'acquisition, serait selon l'auteur de nature implicite, en référence au concept d'apprentissage implicite formulé par Reber (1967). Il faut noter que ces propositions n'ont pas à ce jour été l'objet de travaux expérimentaux.

1.7 Les instructions sur les régularités de la situation : la référence à la distinction entre apprentissage implicite et explicite

Dans le cas des tâches pour lesquelles l'acquisition des régularités de l'environnement permet de contrôler ou d'anticiper des mouvements, Magill (1998) avançait que des instructions qui décrivent les régularités de la situation n'aident pas ou même réduisent l'acquisition. Ce type de tâche peut s'apparenter à celles qui sont rencontrées dans les sports de raquettes, pour lesquelles les pratiquants expérimentés ont acquis des connaissances sur les probabilités des événements possibles qui leur permettent de réduire l'incertitude de la situation et donc de produire une réponse plus rapidement (Abernethy, 1987a ; 1987b ; 1993). Cette acquisition fournit une connaissance relative à l'évolution de la situation, et autorise une préparation sélective aux événements possibles selon leur probabilité d'apparition, préparation dont le bénéfice a été démontré en laboratoire pour des tâches de temps de réaction de choix (Hick, 1952 ; Hyman, 1953).

Nous avons proposé qu'une dichotomie entre langage et action ne puisse pas constituer une prémisse à l'étude des instructions verbales. Les contributions expérimentales à l'étude des effets des instructions sont rares (Chamberlin & Lee, 1993 ; Holding, 1965 ; Newell, 1991 ; Schmidt, 1988). À de fréquentes reprises, une inefficacité des instructions ou

une dégradation causée par celles-ci ont été relevées. Nous allons présenter les deux cadres conceptuels qui ont été souvent utilisés pour étudier ces effets : tout d'abord celui qui oppose l'apprentissage par la découverte et l'apprentissage par instructions, puis celui qui oppose l'apprentissage implicite et l'apprentissage explicite.

Chapitre II

Apprentissage par la découverte

2.1 Origines des travaux sur l'apprentissage par la découverte

L'influence des instructions verbales sur l'acquisition d'habiletés motrices a été étudiée à travers la comparaison de deux conditions d'apprentissage : un apprentissage dénommé apprentissage par la découverte où le sujet ne bénéficie d'aucune instruction, et un apprentissage dit « guidé ». L'apprentissage « guidé » est défini comme un apprentissage dans lequel un intervenant guide l'apprenti de manière à limiter le nombre d'erreurs de ce dernier et- ou à lui communiquer une solution pour atteindre le but (Singer, 1977). Les recherches sur ce thème ont débuté par l'étude de tâches dites verbales ou cognitives et ont concerné surtout l'activité de résolution de problème et l'apprentissage par analogie (Aschehoug, 1992 ; Aiken & Lau, 1967 ; Anzaï & Simon, 1989 ; Craig, 1953 ; Kersh, 1958 ; Lau, 1966). Nous verrons qu'une problématique similaire a été adoptée dans l'étude de l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices (Macrae & Holding, 1965, 1966 ; Prather, 1971, cité par Singer & Pease, 1976 ; Singer, 1977 ; Singer & Pease, 1976 ; Wang, 1925 ; von Wright, 1957). Par la suite des travaux ont intégré au concept d'apprentissage par la découverte des idées spécifiques à l'acquisition de coordinations motrices dans la filiation des idées développées par Bernstein (Bernstein, 1967 ; den Brinker, Stabler, Whiting, & van Wieringen, 1986 ; Hodges & Franks, in press ; Hodges & Lee, 1999 ; Vereijken & Whiting, 1990).

Les principaux résultats des recherches sur les activités de résolution de problème et sur l'apprentissage par analogie indiquaient tout d'abord que l'apprentissage guidé permettait un gain de temps important en comparaison avec un apprentissage par la découverte. Par contre des résultats équivoques étaient relevés quand était considéré l'effet de la condition d'apprentissage sur le transfert à une nouvelle tâche. Les auteurs justifiaient l'intérêt porté au transfert de l'acquisition en avançant l'hypothèse que le guidage a pour effet de réduire l'activité d'exploration des solutions alternatives, laquelle est similaire à l'activité mise en œuvre pour répondre à la nouveauté d'une tâche de transfert. Dans un premier temps, cette question n'a pas trouvé de réponse univoque sur le plan expérimental, car de façon incohérente l'apprentissage guidé pouvait faciliter le transfert (Craig, 1953) ou le rendre plus difficile (Kersh, 1958).

Il est à noter qu'en étudiant exclusivement une condition d'acquisition par la découverte dans la résolution de problèmes géométriques, Gick & McGarry (1992) ne sont pas parvenues à montrer une relation entre les erreurs initiales et le transfert analogique ultérieur pour la résolution d'un nouveau problème.

2.2 L'acquisition guidée ou par la découverte d'habiletés motrices

Singer & Gaines (1975), Pease (1976 ; 1978) et Singer (1977), à la suite des travaux de Prather (Prather, 1969, 1971), empruntèrent l'opposition entre apprentissage guidé et apprentissage par la découverte pour l'étude de l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices.

Il a été montré très tôt une supériorité de l'apprentissage guidé sur l'apprentissage par la découverte pour l'acquisition initiale de tâches de labyrinthe (von Wright, 1957 ; Wang, 1925). Par contre Prather (1969, 1971) rassemblait des résultats en faveur d'une supériorité de l'apprentissage par la découverte sur l'apprentissage guidé quand le transfert était considéré. Enfin Berry, Prather, & Bermudez (1973) montraient que lorsqu'il était demandé aux sujets en condition d'apprentissage guidé de décrire verbalement les stimuli qui leur étaient présentés pendant l'acquisition, leurs performances en transfert égalaient celles des sujets en condition d'apprentissage par la découverte.

Macrae & Holding (1965, 1966a, 1966b, cités par Singer, 1977) pour leur part obtenaient des résultats plus nuancés en utilisant pour l'étude de l'acquisition initiale une tâche

de positionnement manuel et une tâche de poursuite dans laquelle les relations entre le levier de contrôle et l'affichage des résultats du mouvement étaient inversés. Dans une autre étude, les performances en transfert étaient mesurées pour une tâche de poursuite manuelle de cible placée sur un disque en rotation ("poursuit rotor task"). Les résultats de ces derniers travaux indiquaient que l'apprentissage guidé produisait d'excellents résultats pour l'acquisition initiale. En ce qui concerne les performances lors d'un transfert, Macrae & Holding (1966b) concluaient que pour un transfert de niveau peu difficile l'acquisition par la découverte était la plus efficace, par contre pour le transfert à une tâche de niveau difficile l'acquisition en condition guidée entraînait les meilleures performances.

Un gain de temps grâce aux instructions verbales communiquées était observé pour l'acquisition dans une tâche de contrôle simulée sur micro-ordinateur. Newell, Carlton & Fischer, (1989, expérience 3) montrèrent que l'acquisition d'un jeu sur micro-ordinateur dénommé "forteresse spatiale" pouvait être plus rapide avec des instructions verbales. Cette tâche consistait à contrôler, à l'aide d'une manette de jeu électronique, un vaisseau spatial virtuel mobile sur un plan (l'écran du micro-ordinateur), afin de détruire des cibles mobiles à l'aide de projectiles. Les instructions décrivaient une stratégie adoptée de façon autonome par des sujets lors d'une expérience préalable, qui consistait à contrôler la vitesse et la direction de déplacement du vaisseau. La communication des instructions permettait l'adoption de cette stratégie efficace après 60 minutes au lieu de 180 minutes pour les sujets sans instructions verbales.

2.3 Le cas de l'apprentissage de séquences de manipulation d'objets

Singer & Pease (1976) étudièrent l'acquisition, la rétention et le transfert d'habiletés acquises dans trois conditions d'apprentissage : découverte, guidée, et une condition dans laquelle les deux premières étaient alternées. La tâche consistait à utiliser un dispositif de commande composé de commandes manuelles et de pédales (Singer, 1976). Le but de la tâche était d'exécuter une séquence de manipulations spécifiques sur le dispositif dans un temps le plus court possible et avec le moins d'erreurs possibles. Dans les trois conditions d'apprentissage des instructions écrites qui décrivaient la séquence d'opérations à exécuter, ces instructions étaient étudiées par les sujets pendant 2 minutes. En condition d'apprentissage guidé les sujets bénéficiaient de l'affichage, après l'exécution de chaque étape de la séquence,

du chiffre associé de façon arbitraire à l'étape suivante à accomplir. En condition d'apprentissage par la découverte, les sujets exécutaient les essais d'acquisition sans aucune instruction supplémentaire ni guidage en direct par l'écran de contrôle. Enfin, en condition d'apprentissage mixte les sujets consultaient l'écran de contrôle pendant 4 essais puis se retrouvaient en condition découverte pendant 16 essais. Les résultats indiquaient pour la phase d'acquisition des temps d'exécution plus courts pour la condition d'apprentissage guidé que pour les deux autres conditions. Par contre les temps d'exécution dans un test de rétention 24 heures après l'acquisition étaient plus courts pour les conditions Découverte et Mixte que pour la condition Guidée, les mêmes résultats apparaissaient lors du transfert mais exclusivement pour les 4 premiers essais.

En utilisant le même dispositif expérimental Singer & Pease, (1978) ont montré que la supériorité de l'apprentissage par la découverte sur l'apprentissage guidé lors des tests de transfert provenait du fait que seuls les sujets qui étaient initialement en condition guidée changeaient de condition en passant à la tâche de transfert.

Des limites à la portée de ces travaux méritent d'être évoquées. Il faut souligner en effet que la présence simultanée, en condition d'apprentissage guidé, des instructions et de l'affichage des objets à manipuler sur un écran de contrôle limite la généralisation des résultats aux effets des seules instructions verbales. Le guidage utilisé pourrait être décrit comme une aide à l'acquisition qui constituait un rappel en temps réel des composants des séquences.

Ce type d'intervention sur l'acquisition ne correspond pas à la communication d'une description verbale de la procédure à acquérir ou des stimuli rencontrés dans la tâche. De façon plus générale, dans une revue des travaux réalisés sur le thème des effets sur l'apprentissage des conditions guidées ou par la découverte, Singer (1977) pointait du doigt l'hétérogénéité des types de guidage utilisés dans cette littérature et surtout le manque, dans les comptes rendus, de descriptions précises et de définitions de ces interventions sur l'acquisition.

2.4 Les instructions sur les stratégies d'apprentissage

Les instructions peuvent communiquer à l'apprenti des méthodes générales d'apprentissage. A la base de ces investigations l'on retrouve l'idée qu'à travers une stratégie

consciente l'apprenti peut améliorer l'acquisition d'une habileté et sa rétention en mémoire (Singer, 1980). Singer (1980) a établi une liste des six types de stratégies possibles :

- 1 penser à ou imaginer des réponses ou des patrons de mouvement
- 2 associer des mots à des séries de mouvements
- 3 faire attention sélectivement à des composantes de la tâche
- 4 rythmer verbalement une séquence dans un patron de mouvement
- 5 organiser l'information de telle façon qu'un nouvel apprentissage peut être lié à un apprentissage préalable
- 6 faire preuve d'une compréhension de l'habileté en communiquant cette connaissance.

Les travaux expérimentaux de Singer et collaborateurs n'ont concerné qu'un sous-ensemble des stratégies présentes dans cet inventaire, et plus particulièrement la focalisation de l'attention et l'investissement conscient de l'attention. Les instructions étudiées portaient sur le type d'activité mentale volontaire que le sujet doit mettre en œuvre quand il exécute la tâche. Cette activité mentale était décrite par des verbes tels que penser à, ne pas penser à, être conscient de, faire attention à, se focaliser sur, contrôler, préparer, imaginer, évaluer, portant sur des objets étiquetés par les termes mouvement, feedbacks sensoriels, parties du corps en mouvement, détails du mouvement, élément de la situation ou encore résultat du mouvement.

L'étude de ces instructions reposait sur l'hypothèse qu'il est possible de faire adopter rapidement au novice un mode de contrôle de l'action identique à celui des experts. En se référant à la théorie de « l'automaticité » (Logan, 1988) et à la distinction entre processus cognitifs contrôlés et automatiques (Schneider & Shiffrin, 1977), les auteurs proposaient qu'un composant important de l'acquisition consiste à réduire le contrôle conscient des mouvements (Singer, Lidor, & Carough, 1993). Des instructions seraient susceptibles de moduler directement l'importance du contrôle conscient sur le mouvement par des formulations du type « prends conscience du mouvement » ou « ne fais pas attention au mouvement », mais aussi de réduire ce contrôle indirectement en dirigeant l'attention sur d'autres aspects du mouvement, un élément de l'environnement par exemple. Ces stratégies ne sont pas spécifiques à la tâche, les instructions ne sont utilisées que dans le but de diriger ou détourner l'attention volontaire du mouvement pendant l'exécution mais non pour décrire des sources d'informations particulières qu'utilisent des individus expérimentés dans la tâche.

Typiquement, quatre instructions étaient confrontées dans ces expériences. Les premières instructions encourageaient une stratégie "consciente", l'apprenti devait faire attention consciemment pendant l'exécution à chaque action, à la tâche, et aux parties du corps. Le deuxième type d'instructions encourageait à préparer le mouvement avant l'exécution puis à ne pas investir d'attention volontaire sur la suite de l'exécution du mouvement, mais par contre de se focaliser sur un élément de la situation. Le troisième type d'instructions constituait une combinaison de certains aspects des deux précédentes et induisait la stratégie d'apprentissage des cinq étapes mise au point par Singer. Cette stratégie composée de cinq étapes successives à mettre en œuvre à chaque exécution : préparer le mouvement avant son exécution, imaginer l'exécution du mouvement, diriger son attention sur un élément de la situation, exécuter le mouvement sans penser au mouvement, évaluer l'action et les étapes de la stratégie. Enfin, le quatrième type d'instructions est en fait une condition « contrôle » sans instructions sur la stratégie d'apprentissage, l'apprenti dans ce cas adoptant sa propre stratégie. Les quatre conditions de consignes décrites ont été comparées pour l'acquisition dans une tâche de lancer de précision sur une cible verticale après un rebond sur le sol (Singer, Lidor, & Caragh, 1993). Les instructions « 5 étapes » s'avéraient supérieures aux instructions- conscience du mouvement » et à la condition contrôle. De plus les consignes "non-conscience" étaient plus efficaces que les consignes « conscience ». Lors d'une autre expérience, les 4 conditions d'instructions ont été comparées pour l'acquisition dans une tâche qui consistait à appuyer sur neuf touches d'un clavier dans un ordre défini (Singer, Lidor, & Caragh, 1994). Lors de l'acquisition, l'analyse des temps d'exécution des séquences montrait un avantage pour les consignes « cinq étapes » comparées aux consignes "conscience du mouvement" et à la condition contrôle, et ceci, dès les 25 premiers essais. On constate donc que l'effet bénéfique des consignes « cinq étapes » apparaît dès le début de l'apprentissage, et qu'un plancher est atteint après les 125 premiers essais. Dans cette nouvelle expérience, les consignes « non-conscience du mouvement » étaient plus efficaces que les consignes « conscience du mouvement ».

Les travaux initiaux réalisés par Singer et collaborateurs consistent à chercher à réduire l'investissement conscient de l'attention de l'apprenti sur le mouvement durant l'apprentissage. Les résultats obtenus indiquent que les instructions qui incitent à réduire cet investissement conscient apportent de meilleurs résultats que les résultats qui encouragent cet investissement. Cependant la condition d'instructions qui bénéficie le plus à l'apprentissage semble être un compromis entre les deux autres conditions, ce qui contredit l'hypothèse que le comportement automatique des experts peut être adopté d'emblée par des novices.

2.5 Apprentissage par la découverte et apprentissage avec des instructions verbales pour l'acquisition de nouvelles coordinations motrices

L'apprentissage par la découverte a été étudié dans un cadre plus spécifique à l'étude de l'acquisition de nouvelles coordinations motrices (den Brinker, Stabler, Whiting, & van Wieringen, 1986 ; Hodges & Franks, in press ; Hodges & Lee, 1999 ; Vereijken & Whiting, 1990).

Bernstein (1967) défendait l'idée que la caractéristique majeure du comportement moteur réside dans l'impossibilité de répéter exactement un mouvement. Dans ce cadre, la pratique d'une tâche consiste à trouver une solution au problème moteur par des moyens qui varient systématiquement entre les réponses et qui sont de plus en plus perfectionnés au fur et à mesure des exécutions. Les termes de « redondance » motrice, et plus récemment d'"abondance" des solutions motrices (Jaric & Latash, 1999) ont été utilisés pour souligner la variété des solutions pour un même individu visant à satisfaire des contraintes constantes, tant mécaniques qu'informationnelles.

L'apprentissage par la découverte est défini comme un apprentissage sans intervention sociale, qui se met en place par une exploration itérative des propriétés mécaniques et informationnelles du système constitué par l'acteur et l'environnement. Cette exploration permettrait de découvrir la solution optimale de la tâche à travers l'expérience de solutions moins pertinentes (Newell, 1991 ; Vereijken, 1991 ; Vereijken & Whiting, 1990). Pour ce qui nous concerne le point commun avec d'autres approches est de considérer ici que l'effet essentiel des instructions est de focaliser l'attention de l'apprenti (Landin, 1994 ; Magill, 1993 ; Wulf, Hüb, & Prinz, 1998).

L'effet différentiel éventuel du contenu des instructions a été abordé de deux manières qui vont être présentées ci-dessous : d'une part en comparant une condition avec des instructions qui dirigent l'attention sur un paramètre physique du mouvement comme la fréquence, l'amplitude, et la "douceur" ou fluidité² et une condition sans instructions (den Brinker, Stabler, Whiting, & van Wieringen, 1986 ; Vereijken & Whiting, 1990), et d'autre part en comparant une acquisition avec des instructions qui décrivent les positions des

² traduction de "fluency", qui consiste en la minimisation de la dérivée troisième de la position en fonction du temps dénommée secousse en français "jerk" en anglais, Zatsiorsky, 1997

membres impliqués à 4 moments distincts et une acquisition sans instructions (Hodges & Franks, in press ; Hodges & Lee, 1999).

2.5.1 Instructions sur un paramètre du mouvement et apprentissage par la découverte dans la tâche du simulateur de ski

Dans le premier type d'étude, trois conditions qui différaient par les instructions et les connaissances des résultats communiquées à l'apprenti ont été confrontées (den Brinker, Stabler, Whiting, & van Wieringen, 1986), puis dans une étude complémentaire, les données d'une condition d'acquisition par la découverte provenant d'études préalables (van Emmerik, den Brinker, Vereijken & Whiting, 1989 ; Vereijken & Whiting, 1988) ont été ajoutées au plan expérimental (Vereijken & Whiting, 1990). La tâche qui servait de support à l'étude était une tâche d'entraînement à la pratique du ski (dénommée "simulateur de ski"). Le simulateur de ski est un dispositif mécanique destiné à l'entraînement à la pratique du ski. Il est constitué de deux rails courbes sur lesquels est posée une plate-forme montée sur des roulettes. Les rails sont courbes sur un plan vertical et le point le plus haut en est le centre, des bandes élastiques maintiennent la plate-forme au centre de ces rails, et l'acquisition consiste à déplacer la plate-forme le long des rails vers la gauche et la droite en recherchant un accroissement de l'amplitude et de la fréquence des mouvements oscillants. Lors de l'utilisation d'un simulateur de ski, les sujets exécutaient des mouvements oscillants latéraux similaires à ceux qui sont effectués par un skieur qui enchaîne une série de courts virages. Le but de la tâche consistait à faire osciller la plate-forme du dispositif à une fréquence de 0,67 Hz prescrite par un métronome, cette valeur correspondant à la fréquence atteinte par des sujets expérimentés (den Brinker, Stabler, Whiting, & van Wieringen, 1986), en essayant de produire un déplacement de la plate-forme sans secousse et le plus ample possible. Trois variables dépendantes étaient mesurées, la fluidité, l'amplitude, et la fréquence des oscillations de la plate-forme. Dans trois conditions des instructions demandaient de focaliser son attention sur un des trois paramètres (amplitude, fréquence ou fluidité) et une connaissance des résultats relative à la mesure du paramètre choisi était donnée à l'apprenti. Dans la condition d'apprentissage par la découverte aucune instruction ni connaissance des résultats n'étaient communiquées. En résumé, les résultats montraient que les instructions sur l'orientation de l'attention combinées avec une connaissance des résultats avaient une influence sur l'acquisition d'une nouvelle coordination, les instructions sur l'amplitude s'avéraient préférables aux instructions sur la fréquence et la fluidité, mais n'apportaient pas de bénéfice vis-à-vis d'une condition sans instructions ni

connaissance des résultats. Pour interpréter ces résultats, les auteurs avançaient l'hypothèse que l'acquisition avec des instructions sur l'amplitude associées à une connaissance des résultats sur ce paramètre est similaire à l'acquisition par la découverte. En effet, l'acquisition par la découverte se caractérisait par une diminution de la fréquence des oscillations de la plate-forme le deuxième jour de pratique puis par une augmentation progressive de cette fréquence. Une évolution identique de la fréquence était observée uniquement dans la condition Amplitude, ce qui selon les auteurs expliquerait l'effet négatif sur les performances des autres conditions. Toujours selon les auteurs, cette réduction initiale de la fréquence refléterait la nécessité d'apprendre dans un premier temps la forme générale du mouvement adaptée à la tâche, avant d'être capable d'augmenter la fréquence des oscillations.

L'absence relevée d'effets positifs d'une intervention extérieure en comparaison d'une condition d'apprentissage par la découverte amenait Vereijken & Whiting (1990) à généraliser ce constat à toutes les interventions sociales possibles. Vereijken & Whiting (1990) proposaient que l'apprentissage par la découverte permette une approche "globale" de la tâche, l'attention n'étant pas focalisée sur des éléments particuliers mais sur le but de la tâche. Cette absence d'orientation de l'attention autoriserait une stratégie d'exploration associant les aspects qui concernent la forme du mouvement, autrement dit sa géométrie, et les aspects relatifs à l'ajustement des forces produites par l'individu aux caractéristiques mécaniques du dispositif. Au contraire le risque d'une intervention sociale sur le processus d'apprentissage par la communication d'instructions ou même par la démonstration est de focaliser l'attention de l'apprenti et par voie de conséquence de réduire l'intégration forme- dynamique (Vereijken & Whiting, 1990).

Par ailleurs Vereijken & Whiting (1990) faisaient référence à une opposition entre deux types de connaissances : des connaissances dites « pratiques », celles qui permettent l'adaptation du comportement à la tâche, et des connaissances dites « scientifiques ». Les auteurs soulignaient, en reprenant les termes de Polanyi (1958), que les humains peuvent exécuter des actes d'une grande dextérité dans un monde dont ils ignorent les lois physiques, en exhibant une connaissance « tacite » de la tâche. Remarquons que le concept de connaissances tacites employé ici par Vereijken & Whiting semble proche de celui que Reber (1989) utilise pour qualifier l'apprentissage implicite mais il est par contre difficile à rapprocher de celui employé dans le domaine de l'épistémologie par Polanyi (1958). Ce dernier n'opposait en rien habiletés motrices et connaissances scientifiques ; au contraire il s'est employé à présenter toute connaissance comme étant fondamentalement de la même

nature qu'une habileté motrice comme faire de la bicyclette, c'est-à-dire que la connaissance ne serait qu'en partie seulement articulée sous forme discursive (Rosenthal, 1993).

2.5.2 Instructions pour l'apprentissage d'une coordination bimanuelle

D'autres travaux sur l'acquisition d'une nouvelle coordination motrice ont utilisé le paradigme de coordination bimanuelle développé par Kelso et collaborateurs (Haken, Kelso, & Bunz, 1985 ; Zanone & Kelso, 1992). Précisons que ce paradigme s'inscrit dans une théorie particulière de la coordination qui introduit les théories de l'auto-organisation et de l'émergence ainsi que les modélisations des systèmes dynamiques dans l'étude des systèmes biologiques. Des travaux développés au sein de ce cadre théorique ont porté sur l'acquisition de nouvelles coordinations en considérant principalement des variables de stabilité du mouvement mesurées en continu.

Hodges & Lee (1999) étudièrent l'influence, sur l'acquisition d'un nouveau patron de coordination de deux types d'instructions verbales : des instructions "générales" et des instructions "spécifiques", comparées à une condition d'apprentissage par la découverte. La tâche consistait à déplacer le long d'un rail rectiligne deux chariots indépendants munis de poignées, l'un avec la main gauche et l'autre avec la main droite, de manière à produire des mouvements cycliques sur un axe gauche-- droite dans le plan frontal du sujet. Sur un écran de contrôle s'affichait en temps réel un graphe présentant la position d'un des chariots en fonction de la position de l'autre chariot (figure de Lissajous). Le but de la tâche était d'obtenir sur l'écran le tracé d'un cercle qui correspondait à un décalage de phase de 90 degrés entre les deux mains. La réalisation de ce patron de coordination nécessite une acquisition, les deux patrons les plus stables qui sont réalisés d'emblée étant des décalages de 0 (patrons "en phase") et de 180 degrés (patron "anti-- phase"). Trois conditions étaient comparées pour l'acquisition de ce patron de coordination : une condition d'apprentissage par la découverte, une condition d'apprentissage avec des instructions dites "générales" et une condition d'apprentissage avec des instructions dites "spécifiques". Les instructions étaient communiquées avant la pratique de la tâche. Les instructions générales spécifiaient les positions de départ des deux mains, puis expliquaient que la main gauche devait suivre pendant les mouvements cycliques ce que faisait la main droite avec un retard d'un quart de cycle. Les instructions spécifiques incluaient les instructions générales plus un diagramme schématique qui détaillait les positions exactes de chaque main tous les quarts de cycle ainsi

que la direction du mouvement. Les sujets pratiquaient 35 essais chaque jour pendant trois jours consécutifs. Des tests de rétention et de transfert succédaient à la pratique avec un délai de 24 heures. Les instructions étaient répétées chaque jour de pratique.

Les résultats indiquaient que les sujets qui utilisaient les instructions spécifiques et les sujets sans instructions étaient plus proches de la valeur à atteindre que les sujets qui utilisaient les instructions générales, alors qu'ils réalisaient des phases relatives plus instables que ces derniers le premier jour de pratique. Par contre les mouvements des sujets « Instructions Spécifiques » se révélaient plus lents que les sujets « Découverte ». De plus, le premier jour, comme les sujets « Instructions Générales » le patron de coordination le plus stable qu'ils produisaient était le patron en anti-phase au lieu du patron en phase caractéristique des sujets Découverte. Enfin les sujets qui utilisaient des instructions spécifiques étaient davantage perturbés que les autres par une tâche secondaire ajoutée lors du transfert.

Cette expérience est intéressante pour plusieurs raisons. Elle met en évidence qu'une différence réduite dans le contenu des instructions provoque des effets importants sur l'acquisition. Ensuite, des sujets sans instructions atteignent le même niveau de performance que des sujets qui utilisent des instructions spécifiques alors que leurs coordinations préférentielles initiales étaient distinctes. La perturbation engendrée par la tâche secondaire montre une différence de nature de l'acquisition dans ces deux dernières conditions, l'apprentissage avec des instructions spécifiques étant plus instable que l'apprentissage sans instructions.

Les auteurs ont interprété cet effet de la tâche secondaire sur l'habileté acquise comme la conséquence d'un investissement en attention plus important quand des instructions sont communiquées que lors d'un apprentissage par la découverte. Il était aussi proposé que l'instabilité produite par les instructions provient d'un allongement de l'étape cognitive initiale de l'apprentissage.

Hodges & Franks (in press) ont complété l'étude de Hodges & Lee (1999) en étudiant les effets des instructions selon le type de feedback fourni pendant l'apprentissage. Les sujets pratiquaient la tâche en condition d'apprentissage par la découverte ou bien des instructions leur étaient communiquées, instructions qui décrivaient les positions correctes de chaque main par rapport à des repères externes à quatre instants distincts. Un des deux feedbacks suivant leur était transmis : soit le même feedback que celui qui était utilisé par Hodges & Lee (1999),

c'est-à-dire la figure Lissajous, soit un feedback constitué par le tracé des positions de chaque main en fonction du temps. Les résultats indiquaient, au début de la pratique, la même différence de patrons de coordination préférentiels que celle qui était constatée par Hodges & Lee (1999) entre le groupe instructions et le groupe découverte. Lors de la rétention, qui comprenait l'introduction d'une tâche secondaire, les patrons des sujets sans instructions s'avéraient plus stables que ceux des sujets qui utilisaient des instructions quand le feedback était la figure de Lissajous, l'inverse était relevé quand le feedback était les positions des deux mains. De plus, la mesure de la stabilité des patrons de coordination montrait pour les sujets sans instructions la stabilité la plus faible quand le feedback portait sur les positions des deux mains.

Cette nouvelle expérience mettait en évidence une dépendance des effets des instructions verbales vis-à-vis de la nature du feedback fourni pendant l'acquisition, et notamment que des instructions peuvent s'avérer bénéfiques à l'acquisition si un feedback présentant les valeurs des positions des mains en fonction du temps est fourni aux apprenants. Néanmoins les instructions étaient accompagnées d'un enregistrement filmé d'une personne exécutant le patron prescrit, ce qui limite la portée de ces derniers résultats sur les effets des instructions verbales sur l'apprentissage.

Ces recherches montraient des effets comportementaux induits par les instructions verbales très tôt dans l'acquisition et qui avaient des conséquences sur une échelle de temps s'étendant sur l'ensemble de la durée de la pratique. Les instructions produisaient une sorte de biais initial de la coordination spontanée en faveur du patron de coordination qui d'ordinaire est le moins stable (180) des deux patrons préférentiels observés. Le biais initial est une condition suffisante pour expliquer les différences observées entre les conditions d'acquisition. Ce biais, d'après les auteurs, proviendrait du fait que les sujets qui utilisaient les instructions évitaient les mouvements symétriques des deux mains. Ces expériences ont permis d'observer un effet direct des instructions sur l'organisation du mouvement qui entraînait des conséquences sur l'acquisition d'une nouvelle coordination.

2.5.3 Orientations interne versus externe de l'attention par des instructions

Le programme de recherche mis en œuvre par Wulf et collaborateurs repose sur les propositions théoriques de Prinz (1990 ; 1997a). Cet auteur soulignait que le stimulus ne peut pas déclencher une réponse par le mérite de ses seules propriétés, un but préalable étant

nécessaire. Il constate que les théories des stades de traitement de l'information situent le point de départ des traitements dans l'apparition du stimulus auquel l'individu doit répondre. Si on se conforme à cette primauté temporelle du stimulus il est difficile d'introduire explicitement dans la théorie le rôle du but et des intentions. Selon Prinz, les buts sont les effets attendus des actions dans l'environnement. Les stimuli sont aussi représentés comme des états du monde, stimuli et buts sont donc pour l'auteur complètement commensurables. Par contre les mouvements et les buts seraient représentés de façon indépendante. En conséquence des travaux empiriques de Hommel (1993 ; 1996) Prinz prédisait que l'apprentissage permet l'émergence d'un recouvrement entre des codes de représentation qui ne se recouvraient pas initialement, et que cet enrichissement des deux représentations est possible pour des représentations de stimuli externes et de buts mais pas pour des représentations de mouvements et de buts (Prinz, 1997 b, p. 265).

Wulf, Höb, & Prinz (1998) constataient que les instructions usuelles réfèrent aux mouvements du corps mais que selon la théorie de Prinz l'attention devrait porter sur les effets des mouvements dans l'environnement et non pas sur les mouvements eux-mêmes. Autrement dit, les instructions doivent détourner l'attention des mouvements et diriger celle-ci sur leurs effets.

Les premières expériences ont porté sur l'acquisition d'un patron de coordination adapté à un dispositif de simulateur de ski puis à un stabilomètre (Wulf, Höb, & Prinz, 1998). Dans le cas du simulateur de ski, trois groupes de sujets ont été comparés, deux groupes recevant des d'instructions verbales de deux types distincts, l'une orientant l'attention sur le mouvement et l'autre sur les effets du mouvement, et un groupe contrôle sans instructions. L'avantage sur l'acquisition de l'instruction relativement aux effets des mouvements en comparaison des deux autres conditions était prédit.

Les instructions verbales « internes » orientaient l'attention sur le mouvement, tandis que les instructions « externes » orientaient l'attention sur les effets du mouvement. Plus précisément, les instructions « internes » incitaient à exercer une force sur le pied placé dans la direction vers laquelle la plate-forme se dirigeait. Dans les instructions « externes » la référence au pied de l'apprenti était remplacée par la référence à la paire de roue (droite ou gauche) de la plate-forme. Les sujets exécutaient au total 22 essais de 90 secondes chacun, répartis sur trois jours consécutifs. Les instructions étaient communiquées au début de chaque jour, puis étaient répétées tous les deux essais. Le troisième jour constituait un test de rétention sans communication d'instructions. Les résultats sur l'amplitude des mouvements les

deux premiers jours révélait une supériorité des performances dans la condition instructions externes sur les deux autres conditions. La condition instructions internes se caractérisait par les performances les plus faibles à l'issue du premier et du second jour. Lors du test de rétention les instructions externes entraînaient des performances supérieures aux deux autres conditions, par contre les instructions internes ne se distinguaient pas de la condition contrôle.

Une deuxième expérience permettait de retrouver l'avantage en rétention des instructions « externes » sur les instructions « internes » pour l'acquisition dans une tâche d'équilibre sur un stabilomètre, composé d'une plate-forme qui pivote autour de d'un axe central. Le but de la tâche était de maintenir le plateau du stabilomètre en équilibre en position l'horizontale le plus longtemps possible durant des essais de 90 secondes. La comparaison avec une condition d'apprentissage sans instructions n'étant pas réalisée cette fois. Les instructions « internes » demandaient aux sujets de se focaliser sur leurs pieds et de les maintenir à la même hauteur, les instructions « externes » référaient non pas aux pieds mais à deux bandes de couleurs peintes sur la plate-forme. Encore une fois les instructions « externes » se révélaient plus pertinentes que les instructions « internes » en rétention sans instructions, bien que des résultats inverses apparaissaient lors du premier jour de pratique.

Rappelons que la théorie de Prinz et collaborateurs distingue les relations entre stimuli et buts et les relations entre mouvements et buts. Le contenu des instructions utilisées par Wulf *et al.* (1998) constituaient une mise en œuvre discutable de cette distinction. En effet, les deux instructions de l'expérience 1 étaient de la forme « exerce une force sur celui des deux [pieds] ou [roues] qui se trouve dans la direction vers laquelle la plate-forme se déplace », et référaient donc à un aspect du mouvement, ici exercer une force. Seul l'objet (noté X pour la suite) sur lequel exercer une force différait entre les instructions, dans un cas X = une partie du dispositif mécanique et dans l'autre X = une partie du corps. Exercer une force sur X est un moyen d'obtenir l'amplitude maximale, c'est un sous-but et un mode de réalisation de l'action complète. On peut se demander en quoi [exercer une force sur le pied] réfère moins à un effet d'un mouvement que [exercer une force sur la paire de roue].

Une autre expérience dans ce même cadre a été réalisée pour l'acquisition dans une tâche de putting en golf (Wulf, Lauterbach, & Toole, 1999). La tâche consistait à frapper une balle de golf avec un club pour atteindre un trou situé à 15 mètres du sujet. L'acquisition comprenait 80 essais, et un test de rétention était réalisé 24 heures plus tard avec 30 essais. Deux types d'instructions étaient comparés comme facteur inter-sujets : des instructions

dirigeant l'attention sur le mouvement du bras (internes) et des instructions dirigeant l'attention sur le déplacement du club (externes). Les instructions internes décrivaient la position des bras durant trois phases du mouvement : pendant la première phase, le club va en arrière (« back swing »), le bras gauche doit être tendu et le bras droit fléchi, pendant la deuxième phase le club va vers l'avant (« forward swing ») et les deux bras sont tendus, enfin lors de la phase finale qui suit la frappe de la balle (« follow through ») le bras gauche est fléchi et le bras droit est tendu. Les instructions externes stipulaient au sujet de laisser le club exécuter un déplacement comme un pendule, de pousser le club pour débiter un mouvement de pendule et de se concentrer sur le poids et sur la tête du club, sur la direction en ligne droite du trajet du club, et sur l'accélération du club quand celui-ci passe au point bas de l'arc du pendule. L'expérimentateur rappelait l'élément sur lequel se concentrer (bras versus club) tous les 10 essais pendant les 80 essais d'acquisition. Les résultats indiquaient tout d'abord que les sujets recevant les instructions externes étaient plus précis que les sujets recevant les instructions internes tant pendant les 80 essais initiaux que les 30 essais de rétention. On peut regretter que les deux listes d'instructions dans l'expérience sur le swing du golfeur diffèrent par de nombreux aspects. Un découpage temporel du mouvement en trois phases n'était présent que dans les instructions internes, par ailleurs seules les instructions externes contenaient des descriptions de la direction du trajet et de l'accélération au point bas, tout en introduisant une métaphore (« comme un pendule »).

L'effet positif sur l'acquisition des instructions « externes » comparées aux instructions « internes » a aussi été observé pour l'acquisition d'un mouvement technique de tennis (Maddox, Wulf, & Wright, 1999). Dans cette expérience où les sujets devaient atteindre une cible sur le sol en frappant la balle par un revers, deux groupes recevaient deux types d'instructions : se focaliser sur le mouvement de revers et sur le point de contact (instructions internes) versus focaliser sur la cible et sur la forme en arc de la trajectoire de la balle après le contact (instructions externes). Lors du test de rétention et de transfert réalisé après 120 essais répartis sur deux jours, le groupe qui recevait les instructions externes s'avérait plus précis que le groupe qui recevait les instructions internes. Récemment, une confirmation supplémentaire des effets positifs des instructions qui orientent l'attention sur les effets de l'action a été relevé pour une tâche de tennis et pour une tâche de golf (Wulf, McNevin, Fuchs, Ritter, & Toole, 2000). Cette dernière expérience montrait que les instructions sur les effets des mouvements bénéficiaient à l'apprentissage comparativement à des instructions qui orientent l'attention sur des aspects de l'environnement sans rapport avec l'action. Il semble donc que les effets positifs des instructions « externes » ne proviennent pas uniquement d'un

détournement de l'attention consciente exercée sur le mouvement, comme les travaux menés par Singer et collaborateurs semblaient le montrer.

2.6 Conclusion

Les travaux réalisés dans le cadre de la distinction entre un apprentissage par la découverte et un apprentissage guidé ou par instructions verbales indiquent que l'acquisition autonome est bien souvent préférable à une acquisition guidée par des instructions. En effet, il est avancé que l'apprenti ne doit pas chercher à prendre conscience du mouvement pendant son exécution (Singer, Lidor, & Cauraugh, 1993) et que l'attention de l'apprenti doit être détournée du mouvement. Dans un ordre d'idée similaire, il apparaît que les instructions qui focalisent l'attention sur les effets du mouvement améliorent l'apprentissage comparativement à des instructions qui portent sur le mouvement lui-même (Wulf *et al.*, 1998 ; Wulf *et al.*, 2000). Par ailleurs, les travaux de Wulf et collaborateurs démontrent que de faibles nuances dans les instructions verbales communiquées entraînent des effets sensibles sur l'apprentissage, dont l'interprétation semble encore difficile à proposer. Les travaux menés sur les tâches qui nécessitent l'acquisition d'une nouvelle coordination montrent soit une absence d'effet, soit un effet négatif des instructions. Il apparaît de plus, pour l'apprentissage de coordinations motrices, que les instructions peuvent avoir un effet négatif qui apparaît très tôt dans la pratique et qui détermine le processus d'apprentissage à long terme. Ainsi la prescription du but dans les tâches étudiées semble une condition suffisante à l'optimisation des performances.

Nous avons vu que la distinction entre apprentissage par la découverte et apprentissage par instructions est employée pour souligner le fait que les instructions réduisent ou guident l'exploration de la tâche pour l'atteinte du but. Une hypothèse sur l'origine des effets négatifs des instructions est que la focalisation de l'attention sur les composants du mouvement empêche l'acquisition. Cependant, selon une seconde hypothèse, cette perturbation provient de l'incompatibilité entre les connaissances « tacites » qui sont acquises sans instructions et donc au cours d'une confrontation autonome avec les contraintes de la tâche, et les connaissances « théoriques » ou conscientes, qui seraient introduites par l'utilisation des instructions verbales (Vereijken & Whiting, 1990). Une hypothèse similaire à cette seconde hypothèse a donné lieu à plusieurs travaux expérimentaux sur les effets des instructions, cette fois dans un cadre conceptuel qui distingue un apprentissage implicite et un apprentissage explicite. La revue de ces travaux va être abordée dans le chapitre suivant du présent travail.

Chapitre III

Apprentissage implicite et explicite

3.1 Présentation

Les domaines d'activités humaines pour lesquels l'apprentissage implicite est évoqué sont larges et nombreux. On peut citer l'apprentissage d'un premier et d'un second langage, l'apprentissage de concepts, l'adaptation aux contraintes physiques du monde, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture ou encore l'acquisition d'habiletés sociales (Brooks, 1978 ; Lewicki, Hill, & Bizot, 1988 ; Perruchet & Vinter, 1998 ; Reber, 1989). Cette distinction a été aussi utilisée pour l'étude de la résolution de problème (Reber & Kotovsky, 1997).

La distinction entre un apprentissage implicite et un apprentissage explicite caractérise un ensemble de travaux relatifs aux effets des instructions sur l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices et de régularités. Ce choix théorique se justifie en regard de l'importance du rôle attribué aux instructions dans l'établissement de cette distinction entre deux types d'apprentissage (Berry & Broadbent, 1988 ; Nicolas, 1996 ; Reber, 1976 ; Reber, Kassin, Lewis, & Cantor, 1980 ; Seger, 1994). Cette analogie rappelle la position théorique qui consiste à catégoriser les activités langagières comme des activités conscientes (Jackendoff, 1996 ; Mandler, 1992), et à postuler que cet aspect est important pour comprendre les effets du discours sur l'apprentissage d'habiletés motrices.

Il faut de plus rappeler que la notion de connaissances tacites empruntée à Polanyi (Polanyi, 1958) a parfois été employée pour décrire certains aspects de l'apprentissage moteur, notamment pour expliquer l'échec ou l'inefficacité des instructions en comparaison d'une

acquisition par la découverte (Vereijken & Whiting, 1991). Reber (1989) employa cette notion de connaissances tacites pour qualifier l'apprentissage implicite³. Cette proposition générale repose sur l'idée que les "savoir-faire"⁴ ou habileté, ne se résument pas à leur description verbale explicite⁵.

Deux points de vue sur l'apprentissage implicite sont utilisés pour expliquer les effets des instructions verbales : celui qui fût développé initialement par Reber (1967 ; 1969 ; 1976) et celui qui fût développé par Broadbent et collaborateurs (Berry & Broadbent, 1988 ; Hayes & Broadbent, 1988).

3.2 Critères pour la distinction des apprentissages implicite et explicite

La distinction entre un apprentissage implicite et un apprentissage explicite se fonde sur un premier critère : la possibilité ou non, après la pratique répétée d'une tâche qui résulte en l'acquisition de régularités observables dans l'exécution de la tâche, de rappeler ou de témoigner verbalement d'une connaissance des régularités de la situation. L'apprentissage sera qualifié d'implicite s'il existe une dissociation entre une mesure directe de l'apprentissage des régularités dans un test de rappel, un questionnaire d'explicitation ou un test de reconnaissance, et les mesures réalisées sur les performances dans la tâche pratiquée dans l'acquisition. Le second critère renvoie à la détermination par l'expérimentateur, au moyen d'instructions préalables à la pratique de la tâche, de l'activité intentionnelle de l'apprenti durant l'apprentissage. Cette intention doit aboutir à une passivité face aux régularités de l'environnement dans le cas implicite et à leur repérage délibéré dans le cas explicite (Reber, 1989).

Une revue détaillée des critères conceptuels et expérimentaux utilisés pour définir l'apprentissage implicite met en évidence une certaine diversité selon les auteurs (Frensch, 1998). Un des efforts entrepris dans ce travail de définition réalisé par Frensch (1998) est de distinguer l'apprentissage implicite d'autres types d'apprentissage abordés dans la psychologie expérimentale, comme l'apprentissage explicite, l'apprentissage inconscient, l'apprentissage

³ "implicit learning produces a tacit knowledge base" (Reber, 1989, p.219).

⁴ "savoir faire" est la traduction proposée par Rosenthal (1993) du terme "skills" employé par Polanyi ; dans notre domaine le terme consacré est celui d'habileté.

incident, mais aussi des processus différents, comme la mémoire implicite ou l'automatisation (Frensch, 1998). D'autres définitions ont insisté sur les combinaisons entre les caractéristiques implicite ou explicite lors de l'acquisition (apprentissage incident versus recherche intentionnelle de régularité par test d'hypothèses) et lors de la récupération (mémoire implicite versus mémoire explicite), donnant lieu à quatre apprentissages distincts (Cleeremans & Jimenez, 1996). Le caractère non intentionnel de l'apprentissage implicite est aussi parfois discuté par opposition à d'autres concepts empruntés dans la littérature : attentionnel (Logan, 1980), processus contrôlé (Schneider & Shiffrin, 1977), avec effort (Hascher & Zacks, 1979), stratégique (Posner & Snyder, 1975) ou conscient (Posner & Klein, 1973).

3.3 Trois paradigmes principaux

Trois principales tâches ont été utilisées dans l'étude de l'apprentissage implicite : les tâches de jugement de grammaticalité, dit paradigme de l'apprentissage de grammaires artificielles (Reber, 1967), les tâches de pointages séquentiels (Nissen & Bullemer, 1987), et les tâches de contrôle de processus dynamique (Berry & Broadbent, 1984 ; Broadbent, 1977). Les tâches de grammaires artificielles et de contrôle de processus seront décrites plus loin de façon détaillée car les positions théoriques des chercheurs qui sont à leur origine sont reprises dans l'apprentissage moteur.

Ce qui caractérise ces paradigmes est la structuration de l'environnement par des règles qui relient de façon systématique des éléments du matériel expérimental. La performance dans la tâche peut être améliorée par l'extraction et l'utilisation de ces régularités à travers une pratique répétée de la tâche. L'intérêt porte sur la mesure de la modification du comportement subséquent à cette confrontation aux régularités de la situation, modification considérée comme la caractéristique d'un apprentissage. Ces trois types de tâches se distinguent de plusieurs manières, notamment par l'activité des sujets lors du contact avec les régularités et lors du test de l'acquisition. Les sujets ont toujours une activité qui instaure un contact avec les régularités du matériel présenté, mais cette activité diffère de façon importante entre les paradigmes. Dans le paradigme des grammaires artificielles, l'activité des sujets engage essentiellement la perception visuelle d'une configuration composée de

⁵ "Avoir acquis un grande quantité de connaissances sur la dynamique du corps en mouvement n'est pas nécessairement d'une grande utilité quand on se retrouve sur le court de tennis" (Goschke, 1998, p. 402).

consonnes. Dans les paradigmes du contrôle de processus et du pointage séquentiel, les sujets exécutent des mouvements en réponse à des stimuli, et, dans ce cas les relations structurées portent sur des séquences d'instances stimulus-réponses.

Dans l'acquisition de grammaires artificielles, les sujets doivent observer des suites de lettres ou les mémoriser, sans être informés du test qui va suivre cette observation. Il s'agit donc d'un apprentissage qui s'apparente à un apprentissage incident. Le test de l'apprentissage est une tâche de discrimination entre suites de lettres construites à partir des mêmes règles et d'autres suites. Afin que les participants jugent les suites présentées lors du test, l'expérimentateur doit révéler que les suites observées lors de l'observation "passive" étaient générées par une grammaire particulière ou un ensemble complexe de règles ; l'existence d'une grammaire devient ainsi explicite lors du test. Cette tâche consiste donc à mesurer l'influence d'une phase d'observation incidente, sans information relativement le but du test, sur la réalisation d'une tâche de jugement dans laquelle l'existence d'une structure dans les items est explicite (pour une autre méthode, voir Mathews, Buss, Stanley, Blanchard-Fields, Cho, & Druhan., 1989).

De façon très distincte, dans les tâches de contrôle de processus et de pointages séquentiels, les sujets doivent exécuter des séquences de réponses à des stimuli. Dans la tâche de contrôle de processus le but du sujet consiste à s'adapter à la dynamique du système auquel il est confronté pour obtenir un résultat optimum. Le but de maîtriser l'interaction avec le système est explicite, l'apprentissage n'est pas incident. La nature spécifique de la dynamique interne au système, reliant actions du sujet et effets de ces actions, n'est pas décrite par l'expérimentateur. Enfin, dans la tâche de pointages séquentiels, les sujets doivent pointer sur une cible spatiale statique le plus rapidement possible, la position de la cible obéissant à une séquence régulière non communiquée aux sujets. Dans ce dernier paradigme, les séquences utilisées dans la littérature peuvent varier selon leur longueur ou encore leur structure interne qui peut être décrite en termes de complexité au moyen du théorème de l'information de Shannon (Shannon, 1948 ; Stadler, 1992).

Afin de situer les travaux sur les effets des instructions verbales sur l'apprentissage moteur et sur l'apprentissage de régularités environnementales, nous présentons les deux approches initiales, celle développée par Reber et celle développée par Broadbent et collaborateurs. Mais l'étude de l'apprentissage implicite a été l'objet d'intenses débats. L'utilisation des travaux sur l'apprentissage implicite pour l'étude des instructions ne peut faire l'économie d'une prise en compte de ces controverses. Les points d'achoppement des

discussions qui ont ponctué la recherche dans ce domaine ont permis de préciser le rôle que les instructions peuvent avoir dans l'apprentissage.

3.4 Les travaux initiaux de Reber

Reber réalisa les travaux initiaux dans le domaine de l'apprentissage implicite et formula pour la première fois ce concept d'apprentissage implicite dans l'étude de l'acquisition de grammaires artificielles (Reber, 1967). Les travaux de Reber s'inscrivaient à la suite des recherches développées dans les années cinquante par Miller et Chomsky (Chomsky, 1959 ; Miller, 1958) dans le cadre du "Project Grammarama" aboutissant à la formalisation de la syntaxe du langage naturel par des systèmes algébriques communément dénommés "grammaires d'état fini" (pour une présentation détaillée, lire Nicolas, 1996, ainsi que Mathews & Cochran, 1998).

L'expérience princeps de Reber comportait deux étapes successives. Dans la première partie les sujets devaient seulement observer des suites de lettres, ou chaînes, qui leur étaient présentées. Ces exemplaires étaient construits selon les règles d'une grammaire d'états finis, sorte d'automate qui réalise des combinaisons entre des éléments prédéfinis (des lettres), qui règle la succession des lettres et peut générer un très grand nombre de suites distinctes (Reber, 1967 ; 1969). Dans la seconde partie de l'expérience, après avoir annoncé aux sujets que les exemplaires de lettres observés initialement avaient une structure commune, on présentait de nouveaux exemplaires possédant une structure distincte, mélangés à des exemplaires déjà observés et des exemplaires structurés suivant la syntaxe initiale mais qui n'avaient pas été montrés dans la première étape. La tâche des sujets consistait alors à juger de la grammaticalité de chaque exemplaire, c'est-à-dire de l'appartenance ou non d'un exemplaire à la catégorie des exemplaires observés dans la première partie de l'expérience. Reber constatant que les sujets étaient capables de catégoriser les stimuli en commettant des erreurs dans moins de 50 % des jugements, conclut que les régularités qui caractérisaient les stimuli pouvaient être acquises sans recherche consciente et sans que les sujets puissent décrire à posteriori les règles formelles de leur construction. D'autre part, les sujets s'avéraient capables de juger correctement des stimuli construits avec la syntaxe initiale mais qui n'avaient pas été présentés dans la première étape. Ce dernier résultat a conduit Reber à émettre l'hypothèse

que les connaissances acquises étaient abstraites et reflétaient la structure profonde des stimuli.

Un autre résultat important résidait dans l'effet d'une consigne incitant, pendant l'observation des suites de lettres, à la recherche de règles sur la structure du matériel. En effet, lorsqu'une consigne révélait la présence de régularités et encourageait les sujets à trouver les règles de construction des successions de lettres qui leur étaient présentées (Reber, 1976 ; Reber, 1989 ; Reber *et al.*, 1980), l'acquisition était dégradée ou inchangée en comparaison d'une acquisition sans instructions.

Face à ces résultats, l'essentiel de la position de Reber (1976) consista à distinguer deux types d'apprentissage : un apprentissage par recherche consciente des régularités dans la structure des stimuli expérimentaux, nommé apprentissage explicite, et un apprentissage « passif » sans recherche consciente des régularités, nommé apprentissage implicite. Pour expliquer l'effet négatif des instructions qui encourageaient la recherche de la règle, Reber avançait que la découverte par recherche consciente des règles était impossible ou bien conduisait à la construction de règles fausses, du fait de la limitation des ressources cognitives humaines (Reber, 1976 ; Reber *et al.*, 1980). L'application de règles erronées lors des jugements de catégorisation conduisait à d'importantes erreurs de jugement. Part ailleurs la recherche délibérée de la règle pendant l'étape initiale d'exposition aux suites de lettres semblait interférer avec le mécanisme d'acquisition inconscient au point d'exclure ce dernier.

A la suite des premiers travaux de Reber plusieurs courants se sont développés dans ce domaine, certains en accord avec la position de Reber et d'autres s'y opposant, discutant essentiellement le caractère inconscient de l'acquisition et la nature abstraite des connaissances. Il est notable que pour l'étude des effets des instructions sur l'apprentissage moteur les auteurs ont utilisé de façon exclusive la théorie défendue par Reber sans prendre en compte les arguments de ses contradicteurs. Pourtant, comme il sera discuté plus avant dans le texte, ces controverses sont susceptibles de fournir un éclairage sur l'étude des instructions.

3.5 Les travaux de Broadbent et collaborateurs

Des recherches sur l'influence des instructions verbales lors de l'apprentissage sur l'acquisition et la résistance au stress d'une l'habileté motrice, ont importé une façon d'étudier l'apprentissage implicite sensiblement distincte de celle initiée par Reber (Bright & Freedman,

1998 ; Hardy, Mullen, & Jones, 1996 ; Masters, 1992). Cette seconde approche, illustrée par les travaux de Berry & Broadbent (1988) et Hayes & Broadbent (1988), faisait suite aux études de l'activité de résolution de problème menée par Broadbent à partir d'une tâche de contrôle de trafic urbain simulé (Broadbent, 1977). Cette approche ne remettait pas en question la distinction de Reber entre un type d'apprentissage reposant sur une activité consciente de recherche de règles (explicite), et un autre type d'apprentissage dénué d'une telle activité consciente (implicite). Mais la nouveauté provenait de l'intérêt porté au rôle de la mémoire de travail dans la distinction des deux modes d'acquisition, rôle mesuré expérimentalement à partir de la perturbation causée sur l'acquisition par l'exécution d'une tâche secondaire. Ce fut dans ce cadre que Hayes & Broadbent (1988) définirent un mode sélectif d'apprentissage et un mode non sélectif, correspondant respectivement aux apprentissages explicite et implicite. L'apprentissage sélectif était caractérisé par une sélection intentionnelle de traits qui composent l'environnement, cette sélection nécessiterait l'activité de la mémoire de travail. Par contre l'apprentissage non sélectif est présenté comme la prise en compte passive des régularités de l'environnement sans activité de la mémoire de travail.

Hayes & Broadbent (1988) ont comparé l'apprentissage dans deux versions d'une tâche d'interaction sociale simulée sur un micro- ordinateur. Dans cette tâche le sujet interagissait avec une personne virtuelle dans le but d'obtenir une attitude amicale de cette personne. L'attitude de la personne virtuelle (réponse du système) était fonction de l'attitude choisie par le sujet (valeur d'entrée du système). Afin de calculer les réponses du système, les attitudes étaient codées numériquement de 1 (hostile) à 12 (amicale). Un groupe expérimental pratiquait une tâche pour laquelle la réponse à l'essai t (O_t) était fonction de l'attitude choisie par le sujet à l'essai t (S_t) et un second groupe pratiquait une tâche pour laquelle la réponse à l'essai t était calculée à partir de l'attitude choisie par le sujet à l'essai t-1. La première fonction calculait la réponse sans décalage alors que la seconde incluait un décalage. Les résultats montraient que la première fonction, qui peut se noter $O_t = S(t) - 2 + a$, déterminait un mode d'apprentissage sélectif, et la seconde fonction, $O_t = S(t-1) - 2 + a$, entraîne un apprentissage non sélectif, le paramètre a était choisi aléatoirement dans l'ensemble (-1 ; 0 ; 1). Lors de l'expérience 1 (Hayes & Broadbent, 1988) la pratique répétée des deux tâches puis la modification des fonctions (-2 est remplacé par +2) révélait une supériorité du groupe «sans décalage» sur le groupe «décalage» en acquisition ainsi qu'une perturbation plus grande du groupe «décalage» quand les fonctions étaient modifiées. Dans l'expérience 3 deux groupes expérimentaux pratiquaient chacun une des deux tâches utilisées lors de l'expérience 1 mais en exécutant une tâche secondaire mobilisant la mémoire de travail. Cette tâche secondaire qui consistait à

énoncer des lettres dans un ordre aléatoire (Baddeley, 1966), est choisie dans le but de mobiliser le registre de la mémoire de travail responsable de la production du langage et de l'encodage de stimuli verbaux, ainsi que le processeur central de la mémoire de travail. Les résultats de l'expérience 3 indiquait que la condition de double tâche ne perturbait pas l'acquisition de la tâche avec la fonction «décalage» mais dégradait l'acquisition de la fonction «sans décalage». Ces résultats semblaient indiquer que l'acquisition d'une tâche complexe est réalisée par un mode d'apprentissage qui ne se caractérise pas par un investissement de la mémoire de travail, à la différence de l'apprentissage d'une tâche plus simple. L'interprétation de ces résultats avancée par Hayes & Broadbent était qu'une double dissociation existe entre un mode d'apprentissage sélectif ou explicite et un mode d'apprentissage non sélectif ou implicite. Ajoutons enfin que les résultats de Hayes & Broadbent (1988) n'ont pas été répliqués, et ceci sans explication évidente (Green & Shanks, 1993 ; Sanderson, 1989).

3.6 Effets des instructions sur le mouvement

3.6.1 Instructions pour l'apprentissage dans une tâche de golf

L'étude de Masters (1992) sur les effets des instructions et les études qui ont suivi (Bright & Freedman, 1998 ; Hardy, Mullen, & Jones, 1996) prenaient appui sur les travaux menés par Broadbent et collaborateurs qui montraient une indépendance de l'apprentissage implicite vis à vis du fonctionnement de la mémoire de travail en comparaison de l'apprentissage explicite.

L'objectif de Masters (1992) était de tester l'hypothèse que la perturbation des performances due au stress est plus grande quand des instructions sont communiquées que lorsque l'apprentissage est implicite. Il était proposé que l'acquisition pour une tâche de "putting" de balle de golf est implicite si des instructions ne sont pas communiquées à l'apprenti et si une tâche secondaire est imposée au sujet pendant toute la durée de l'acquisition. La tâche secondaire est utilisée pour empêcher une recherche consciente des régularités pendant la pratique de la tâche. Le raisonnement consistait à considérer que l'introduction d'un stress, tel que l'évaluation de la performance par un expert, favorise l'adoption d'un contrôle conscient de l'exécution de la tâche qui tend à évacuer le contrôle automatique, caractéristique selon l'auteur d'une habileté. L'opposition entre contrôle

conscient et contrôle automatique est explicitement assimilée par l'auteur à la distinction entre processus contrôlés et automatiques, introduite par Schneider & Shiffrin (1977) dans l'étude de l'automatisation de la recherche visuelle. L'auteur considère que ce contrôle conscient en condition de stress est déterminé par la quantité de connaissances accessibles à la conscience et que plus ces connaissances sont importantes plus le stress dégradera la performance. Enfin, l'auteur présupposait que des instructions verbales induisent lors de l'étape initiale de l'acquisition des processus de contrôle conscients et la construction de connaissances déclaratives, alors qu'un apprentissage implicite au contraire réduit cette étape initiale. L'expérience a porté sur l'acquisition d'une habileté motrice pour l'exécution d'une tâche de putting de balle de golf. La tâche de putting consistait à frapper la balle posée sur le sol au moyen d'un club de golf et à l'envoyer dans un trou. La cible se trouvait à 150 cm de la position de départ de la balle, le sol était recouvert d'une moquette, et était incliné avec une pente de 1/4. Les sujets accomplissaient 4 sessions d'acquisition comportant chacune 100 essais, puis suivait la session dans laquelle un stress était introduit. Les connaissances explicites des sujets étaient inférées à partir du nombre de règles sur l'exécution de la tâche que les sujets étaient capables de verbaliser à la fin de l'expérience. Les résultats validaient les prédictions de l'auteur, les performances du groupe Explicites se distinguaient de celles du groupe Implicite, les premières se dégradaient entre la l'acquisition et la session "stress", alors que les secondes continuaient de s'améliorer de la même manière que celle du groupe Implicite Contrôle sans stress. Les performances des sujets en condition Implicite ne semblaient donc pas affectées par l'introduction du stress.

Cette absence de perturbation par l'introduction du stress pour le groupe Implicite pouvait provenir de la suppression de la tâche secondaire lors de la session "stress". Deux études se sont proposées de vérifier les résultats de Masters en étudiant les performances d'un groupe implicite dont les sujets ne recevaient pas d'instructions et continuaient d'exécuter la tâche secondaire pendant la session de test. Hardy, Mullen, & Jones (1996) confrontèrent un groupe de sujets recevant des instructions (groupe Explicite), un groupe de sujets qui ne recevaient pas d'instructions et exécutaient une tâche secondaire pendant quatre sessions d'acquisition mais pas pendant la dernière session durant laquelle un stress était introduit (groupe Implicite A), une condition identique à celle du groupe Implicite A à l'exception du fait que la tâche secondaire était maintenue lors de la session test (groupe Implicite B), et enfin un groupe contrôle sans instructions ni tâche secondaire ni introduction de stress. Les résultats indiquaient que les sujets des groupes Implicites A et B continuaient d'apprendre

entre la session quatre et la session de test. Par contre, les performances du groupe Explicite ne s'amélioraient pas entre les deux dernières sessions.

L'argument qui pouvait être opposé à Masters semble exclu par cette expérience, la résistance au stress démontré par les sujets en condition implicite ne proviendrait pas de la suppression de la tâche secondaire. Les résultats du questionnaire d'explicitation indiquaient que les sujets du groupe contrôle sans instructions et sans double tâche produisaient davantage de règles explicites lors de l'entretien que les sujets qui recevaient des instructions.

Bright & Freedman (1998) soulevèrent la même objection que Hardy et al. (1996) aux conclusions de Masters. Ils réalisèrent une expérience avec un groupe Explicite recevant des instructions, un groupe Implicite sans instructions exécutant une tâche secondaire identique à celle utilisée par Masters (1992) pendant l'acquisition, et un groupe Implicite sans instructions exécutant une tâche secondaire pendant toutes les sessions. Précisons que les sujets exécutaient des sessions de 40 essais au lieu des 100 essais réalisés dans les expériences de Master (1992) et de Hardy *et al.* (1996). L'acquisition avant l'introduction du stress portait sur 160 essais au lieu de 400 pour les études précédentes, la perturbation était donc introduite beaucoup plus tôt dans le processus d'acquisition. Les résultats révélaient que seuls les sujets du groupe Implicite pour lesquels la tâche secondaire était supprimée lors de la session de stress continuaient à progresser. Lors d'une seconde expérience, Bright & Freedman (1998) comparèrent deux groupes de sujets sans instructions qui exécutaient soit une tâche secondaire facile, soit une tâche secondaire difficile. Les sujets pratiquaient la tâche de putting selon la même organisation que lors de la première expérience. Les tâches secondaires étaient supprimées lors de l'introduction d'un stress pour les deux groupes. La suppression de la tâche secondaire difficile s'accompagnait d'une plus grande amélioration des performances que la suppression de la tâche secondaire facile. Les auteurs concluaient que les observations de Masters ne pouvaient être interprétées dans le cadre de la distinction des apprentissages implicite et explicite, et que l'acquisition dans la tâche de putting comporte une composante explicite. De façon plus radicale, Bright & Freedman adoptaient, pour interpréter les effets des instructions, la position des opposants à la théorie de la dissociation entre ces 2 modes d'apprentissage, défendue par Reber (1989) ou encore Hayes & Broadbent (1988). Cette composante explicite semblait bien réelle à condition d'accepter le postulat que la double tâche de génération aléatoire de lettres interfère uniquement avec un aspect isolé de l'acquisition de l'habileté : la recherche explicite de solutions optimales à la tâche.

Les résultats des deux études réalisées pour compléter l'expérience de Masters ne sont pas univoques. Les effets obtenus en particuliers par Bright & Freedman (1998) semblaient remettre en question les hypothèses de Masters. De plus Hardy et al. (1996) ont montré que l'utilisation des instructions verbales pouvait réduire le nombre de règles verbalisées à posteriori par les apprentis en comparaison d'une condition sans instructions, toutes choses étant égales par ailleurs. Ce dernier résultat va à l'encontre de nombreuses hypothèses sur les effets des instructions verbales. La communication d'instructions n'a pas pour conséquence l'adoption d'un mode plus explicite d'acquisition qu'une acquisition sans instructions.

3.6.2 Instructions pour l'acquisition d'une nouvelle coordination

Les effets de principes mécaniques généraux sur l'acquisition ont été étudiés par Colville (1957) dans des tâches de tir à l'arc sur cible, de tir de balle sur cible à l'aide d'une crosse ou encore de lancer de balle sur cible après un rebond sur le sol. Les expériences réalisées concluaient à un effet positif des instructions qui décrivaient des caractéristiques mécaniques. Mais récemment, s'inspirant de l'inefficacité des instructions de recherche de règles relevée dans la littérature sur l'apprentissage implicite, Wulf & Weigelt (1997) prédisaient que des instructions sur le mouvement n'aideraient pas l'acquisition d'une coordination qui engageait l'ensemble des segments corporels. Deux expériences ont été réalisées sur l'acquisition dans la tâche du simulateur de ski (Vereijken, 1991). A la différence des tâches étudiées par Colville (1957) ou par Masters (1992), la tâche du simulateur de ski n'impose pas seulement l'ajustement de paramètres d'un mouvement dont la forme générale est déjà acquise mais impose l'acquisition d'une nouvelle coordination entre plusieurs segments corporels.

Dans la première expérience, Wulf & Weigelt (1997) ont comparé deux groupes de sujets, un groupe auquel l'expérimentateur communiquait des instructions verbales et le second ne recevant pas d'instructions. A la suite de Masters (1992), il était prédit que l'utilisation des instructions entraînerait un niveau de performance inférieur et une déstabilisation plus grande par l'introduction d'un stress dans la situation, que dans le cas d'une acquisition sans instructions. Une particularité de cette recherche provenait de l'origine des instructions utilisées. Les auteurs ont produit des instructions à partir d'une description de l'acquisition de la coordination dans la tâche du simulateur ski (Vereijken, 1991 ; Vereijken, Whiting, & Beek, 1992 ; Whiting & Vereijken, 1993). Les instructions conseillaient d'exercer une force sur la plate-forme une fois que la plate-forme du dispositif avait franchi le centre des rails, c'est-à-dire le point le plus haut. Les résultats révélaient que l'acquisition avec ces instructions

ne différait pas de l'acquisition sans instructions. Par contre, quand un stress était introduit, en l'occurrence l'évaluation de la performance par un expert, l'habileté acquise avec une utilisation des instructions se dégradait davantage que celle acquise sans instructions.

La deuxième expérience explorait l'effet d'une communication des instructions après une phase d'acquisition à des sujets qui ne recevaient pas d'instructions initiales. Les résultats indiquaient une dégradation immédiate des performances par la communication des instructions.

Les premiers résultats n'indiquaient aucun bénéfice des instructions verbales. De plus l'hypothèse de Masters (1992) sur la fragilité vis à vis du stress de l'habileté acquise en utilisant des instructions était consolidée. Cette expérience a par ailleurs montré que la communication d'instructions pouvait déstabiliser immédiatement une coordination acquise au préalable sans instructions. Cette perturbation intervenait après que les performances des sujets en termes d'amplitude et de fréquence des mouvements s'étaient accrues. Les auteurs proposaient que les instructions ne bénéficient pas à l'apprenti car celles-ci induisaient une orientation sélective de l'attention sur des aspects isolés du mouvement, alors que l'orientation de l'attention pour la coordination entre segments corporels qui comportent plusieurs degrés de liberté devrait porter uniquement sur le but global de la tâche (Gentile, 1972).

3.7 Les effets des instructions sur les régularités environnementales

3.7.1 Les effets des instructions sur le transfert

La détermination de la flexibilité de l'apprentissage implicite est progressivement devenue une question de premier plan (Altmann, Dienes, & Goode, 1995 ; Dienes & Altmann, 1997 ; Gomez & Schvaneveldt, 1994 ; Knowlton & Squire, 1996 ; Mathews *et al.*, 1989 ; Perruchet, 1994 a ; Reber, 1969 ; Vokey & Brooks, 1992). Classiquement, la flexibilité de l'apprentissage est mesurée dans une épreuve de transfert qui fait suite à une phase d'acquisition. Ce transfert consiste à la présentation de nouveaux stimuli similaires aux stimuli de la phase d'étude au niveau leur structure « profonde » mais différents au niveau des caractéristiques de « surface » perçues. Les premières expériences menées sur le transfert dans l'apprentissage implicite de grammaires artificielles ont cherché à montrer que des règles abstraites étaient acquises, celles-ci permettant une indépendance relative des performances vis à vis des stimuli spécifiques perçus dans la phase d'acquisition (Reber, 1969). Cependant

il apparaît que le transfert est faible dans l'apprentissage de grammaires artificielles (Altmann, Dienes, & Goode, 1995 ; Dienes & Altmann, 1997). Par ailleurs, ce transfert nécessiterait beaucoup de pratique (Mathews *et al.*, 1989), mais soulignons que des travaux montrent des une flexibilité de l'acquisition pour des quantités de pratique réduites (Gomez & Schvaneveldt, 1994). Les recherches se sont orientées vers des interprétations concurrentes à celle de l'acquisition de connaissances abstraites : le transfert observé pourrait provenir d'un jugement de similarité réalisé pendant la perception des nouveaux stimuli et non pas de la nature des connaissances acquises (Brooks, 1978 ; Vokey & Brooks, 1992). Enfin, les performances réalisées en transfert pourraient provenir plus simplement de l'acquisition d'éléments très spécifiques aux stimuli tels des regroupements de 2 ou 3 lettres (Perruchet, 1994a).

Ces débats ont amener certains auteurs à souligner la difficulté à valider expérimentalement ces théories du transfert (Hahn & Chater, 1998). Pourtant l'étude du transfert demeure une piste de recherche intéressante pour préciser la nature des apprentissages implicite et explicite (Satdler, 1997). La confrontation d'une acquisition avec des instructions verbales spécifiques et d'une acquisition sans instructions verbales peut apporter des données supplémentaires relativement à la flexibilité de l'apprentissage. Dans le cadre de l'étude du transfert, les instructions verbales ont parfois été présentées comme une description déclarative de règles de production particulières à la tâche, constituées de paires condition-Action (Kieras & Bovair, 1986, p.521). Dans le cadre de l'apprentissage de régularités ces descriptions constitueraient des relations entre évènements de l'environnement. La mise en relation par une représentation « symbolique » externe des évènements de la situation pourrait faciliter le transfert à la suite d'une phase de pratique.

Dans une étude déjà ancienne, Judd (1908, p.37) étudiait l'effet des instructions communiquées avant l'acquisition comparativement à une condition sans instructions, pour l'acquisition et le transfert dans une tâche de lancer de fléchettes sur des cibles immergées. Les instructions décrivaient le principe optique de réfraction de l'eau et étaient accompagnées d'un schéma illustrant ce principe dans le cadre simplifié de la géométrie plane. La tâche de transfert consistait à lancer des fléchettes sur des cibles placées à des profondeurs distinctes de celle de l'acquisition. Les résultats indiquaient une facilitation du transfert par les instructions. Ce travail a été reproduit et des résultats identiques étaient relevés (Hendrickson & Schroeder, 1941).

Les instructions utilisées ont pu bénéficier aux apprentis dans le transfert car elles décrivaient des caractéristiques de la situation liées au but de l'action du lancer, précisément la localisation de la cible. En dehors du transfert, l'acquisition par la découverte conduisait à des performances de niveau équivalent à l'acquisition avec les instructions. Une acquisition sans instructions peut s'appuyer sur une correction d'essai en essai sur la base des erreurs radiales du lancer quand la cible est placée à une profondeur donnée. Les résultats obtenus en transfert indiquaient par contre que ce type d'acquisition ne permet pas l'acquisition d'une connaissance générale permettant de mettre en relation la profondeur à laquelle la cible est placée et la déviation du champ optique. Dans le cas de la tâche de transfert, les sujets sans instructions doivent de nouveau ajuster progressivement leurs lancers sur la base des résultats de leurs actions, ce qui constituerait alors un second apprentissage et non pas un transfert.

Un aspect important de ces études provient du fait que les instructions bénéficiaient au transfert bien qu'elles constituent une représentation en géométrie plane de la situation alors que l'action s'inscrit dans un monde à trois dimensions spatiales. Il ne s'agit pas d'un exemple isolé : dans une analyse de corpus de textes procéduraux Wright (1998) soulignait que des représentations spatiales graphiques en deux dimensions sont largement utilisées. Plusieurs travaux ont montré que des instructions comportant des représentations graphiques planes peuvent aider l'acquisition, comparativement à des instructions verbales pour l'apprentissage de séquences de mouvements de danse (Juaire & Pargman, 1991), et comparativement à une acquisition sans instructions pour l'apprentissage de techniques de natation (Mohr & Barret, 1962).

Une autre étude, cette fois réalisée sur des enfant âgés de 8 et 10 ans, montrait une facilitation du transfert par des instructions verbales (Ervin, 1960). L'aide apportée au transfert par une description verbale s'affirme comme une piste intéressante pour l'étude des instructions. En effet ce type de représentation « symbolique » externe constitue un moyen simple pour mettre en évidence des relations systématiques entre des éléments de la situation, ces relations constituaient une description des régularités qui ne sont pas toujours extraites de façon autonome. Cependant rappelons que les hypothèses d'une acquisition de relations systématiques entre éléments de la situation ou de règles abstraites, ne semblent pas toujours nécessaires ni heuristiques pour expliquer les résultats observés dans des tâches de transfert (Hahn & Chater, 1998 ; Perruchet, 1994 a).

L'effet spontané des instructions verbales initiales sur le transfert est important en particulier en regard des travaux réalisés sur le transfert dans des tâches de résolution de problème. En effet, il a été montré que le transfert analogique entre deux problèmes était

accompli spontanément par seulement 30% des sujets (Gick & Holyoak, 1980 ; 1983). L'étude des effets des instructions verbales qui décrivent la situation sur le transfert analogique a une portée très large. Le transfert analogique constitue un mode d'adaptation de l'individu très général, et s'appliquerait en particulier à des situations pour lesquelles l'individu ne dispose que de représentations partielles, et qui se caractérisent par une variabilité importante et des changements fréquents (Gineste, 1997). L'hypothèse que les instructions sur la situation permettent l'acquisition de règles générales et leur utilisation dans la tâche n'est pas développée exclusivement pour expliquer les résultats dans le transfert après l'acquisition, mais aussi pour l'acquisition de certaines structures séquentielles. En effet, il est apparu par ailleurs que des instructions étaient nécessaires à l'acquisition de séquences isomorphes (par exemple les séquences ABCBAC et DEFEDF), dans une tâche de temps de réaction qui demandait une réponse motrice spécifique pour chaque lettre de la séquence (Dominey, Lelekov, Ventre-Dominey, & Jeannerod, 1998). Les caractéristiques de surface de la séquence étaient systématiquement modifiées d'une séquence à l'autre, mais la structure « profonde » introduite dans ces séquences permettait de prédire certaines lettres à partir de deux lettres apparues dans des essais précédents. L'apprentissage sans instructions permettait uniquement une acquisition non spécifique, qualifiée d'apprentissage de la surface des stimuli, présentée comme une réduction des temps de réaction des réponses individuelles aux stimuli. Seuls les sujets qui recevaient une description verbale de la structure des séquences exhibaient une réduction des temps de réaction pour les essais prédictibles. Les auteurs ont qualifié ce paradigme de transfert analogique dans l'apprentissage de séquences (Dominey *et al.*, 1998). L'acquisition de ce type de régularités diffère de l'acquisition de séquences régulières dont la surface est reproduite à chaque présentation, et qui peut être acquise sans instructions verbales (Nissen & Bullemer, 1987). Il semblerait que certaines régularités ne sont pas extraites de façon autonome et que le transfert quand la surface des stimuli est modifiée, est facilité par des instructions.

3.7.2 Instructions sur les régularités dans une tâche d'anticipation-coïncidence

La distinction entre apprentissage implicite et apprentissage explicite est défendue dans l'étude de l'acquisition dans une tâche d'interception manuelle (Green & Flowers, 1991). En accord avec les propositions de Reber (1976) sur l'effet des instructions verbales de recherche de règles, les auteurs ont fait l'hypothèse que les instructions dégraderaient l'acquisition en comparaison d'une condition sans instructions. Les instructions utilisées n'étaient pas des instructions encourageant les sujets à rechercher des règles structurant les régularités de la situation, mais des instructions spécifiques qui décrivaient la structure des régularités. Une particularité de cette recherche provenait des deux composants de cette tâche : l'exécution de l'action d'interception en tant que processus visuo-moteur, et l'utilisation des régularités constituées des relations entre un signal visuel discret et la trajectoire de la balle. Les régularités introduites dans la tâche étaient de nature probabiliste, et les auteurs insistaient sur le fait que l'acquisition de ce type de régularités peut s'effectuer de façon implicite et sans que des instructions décrivant les régularités n'améliorent l'acquisition (Reber, 1966 ; Reber & Millward, 1968). Une condition d'apprentissage avec instructions verbales et une condition d'apprentissage sans instructions verbales ont donc été comparées pour l'interception au moyen d'une manette de jeu électronique de cibles affichées sur un micro-ordinateur. Plusieurs formes de trajets de cibles étaient utilisées : des courbes régulières vers la gauche ou vers la droite, ainsi que des formes s'apparentant au tracé d'un S sur l'écran. Au déplacement de la cible étaient ajoutées des relations probabilistes qui associaient la présence ou l'absence d'un élément visuel discret affiché dans la partie haute des trajectoires des cibles et la présence ou l'absence d'une déviation vers la droite de la partie finale de la trajectoire. L'indice discret était une courte déviation du trajet vers la droite puis un retour vers la trajectoire normale d'une durée de 166, 6 ms, et la déviation finale du trajet était déviation de 9 pixels vers la droite pendant les 300 dernières ms. Ainsi, la combinaison de l'apparition de l'indice et de la déviation donnait 4 types de trajets. La nature probabiliste de ces co-variations provenait du fait que lorsqu'un indice discret était affiché en début de trajectoire, la cible était déviée dans 75 % des essais alors que lorsque aucun indice n'était affiché, la cible n'était pas déviée dans 75 % des essais. L'analyse des erreurs spatiales indiquait que les performances des deux groupes s'amélioreraient avec la pratique. Sur l'ensemble des essais, les sujets qui ne recevaient pas d'instructions verbales étaient plus précis que les sujets qui recevaient des instructions. Les auteurs concluaient, conformément à leurs hypothèses, que les instructions

perturbaient l'exécution optimale de l'action d'interception car leur utilisation mobilisait une part des ressources cognitives qui étaient nécessaires aux ajustements visuo-moteurs de cette action. Les auteurs avançaient en particulier que le maintien en mémoire de travail d'une règle décrite dans les instructions, et la tentative de l'appliquer, produisaient une perturbation de l'ajustement visuo-moteur précis et rapide du mouvement que requiert l'exécution de la tâche d'interception.

3.7.3 Les tâches de poursuites de cibles

A la suite de Green & Flowers (1991), Magill & Clark (1997) prolongèrent l'étude de l'acquisition de régularités probabilistes dans une tâche visuo- motrice en utilisant une tâche mise au point par Pew (1974). Pew (1974) avait utilisé, pour l'étude de l'apprentissage, une tâche consistant à poursuivre une cible décrivant des sinusoïdes sur un écran de micro-ordinateur au moyen d'un curseur affiché sur l'écran que le sujet peut déplacer dans deux directions opposées en appuyant sur 2 boutons. Pew montra que les performances après 6 jours de pratique étaient plus précises pour un segment de la trajectoire sinusoïdale dont la forme était constante d'un essai à l'autre que pour les parties du trajet qui variaient systématiquement entre les essais. Bien que la question de la nature explicite ou implicite de cette acquisition ne constituait pas l'objet de cette recherche, l'auteur relevait que les sujets ne témoignaient pas avoir conscience de la présence d'un segment régulier.

Magill (1998) rapprochait la tâche de laboratoire utilisée par Green & Flowers (1991) des observations sur les comportements de pratiquants expérimentés dans les sports de raquette. Des travaux ont en effet mis en évidence que les sujets expérimentés dans la pratique des sports de raquette utilisent des indices visuels prélevés sur le corps de l'adversaire pour contrôler l'action d'interception de la balle (Abernethy, 1993 ; Goulet, Bard, & Fleury, 1989). Ce rapprochement repose sur l'analogie entre les régularités qui permettent d'anticiper l'action dans la tâche d'interception de Green & Flowers (1991) et les régularités utilisées par des joueurs expérimentés. Il apparaît que l'action dans ces situations comporte deux composantes. L'une des composantes de l'action d'interception est le contrôle du mouvement sur la base d'informations visuelles spécifiées physiquement par l'environnement, qui permet d'atteindre la zone de contact au bon endroit et au bon moment (Peper, Bootsma, Mestre, & Bakker, 1994 ; Whiting, Gill, & Stephenson, 1970 ; Whiting, Salvesberg & Faber, 1988). L'autre composante réside dans l'utilisation des régularités de l'environnement qui permet de se préparer en avance pour intercepter les cibles. En première approximation, dans ces situations,

l'apprenti devrait apprendre à intégrer ces deux types d'informations (Massaro, 1990), d'une part l'information d' « indication » qui réduit l'incertitude sur l'action qui doit être choisie et d'autre part l'information de « spécification » présente de façon continue dans l'environnement (Bootsma, Fayt, Zaal, & Laurent, 1997 ; Lee, 1976 ; Lee & Reddish, 1981 ; Peper *et al.*, 1994 ; mais voir pour une discussion Kerzel, Hecht, & Kim, 1999 ; Tresilian, 1994 ; 1999 ; Wann, 1996).

Magill & Clark (1997) faisait l'hypothèse que les effets négatifs des instructions étaient spécifiques aux régularités probabilistes. Ils manipulèrent la probabilité d'occurrence du segment régulier dans la tâche de poursuite de cible ainsi que la condition d'apprentissage des sujets, avec instructions ou sans instructions. Deux niveaux de probabilité d'occurrence étaient choisis, soit 1 soit 0,5. Les instructions révélaient l'existence du segment régulier et décrivaient la probabilité de son occurrence. Les résultats indiquaient une interaction entre la probabilité et la condition d'instruction, les performances quand des instructions étaient communiquées pour des régularités valides dans 50% des cas étaient plus faibles que dans les trois autres conditions expérimentales. Cette expérience semblait confirmer que l'effet négatif des instructions dans une tâche visuo-motrice est spécifique aux régularités probabilistes.

3.8 Développements récents dans la distinction entre apprentissage implicite et explicite

3.8.1 Remise en cause du modèle de la dissociation

La distinction entre un apprentissage implicite et un apprentissage explicite repose sur une absence de corrélation entre une mesure de l'acquisition de la structure de l'environnement effectuée sur les performances dans une tâche pratiquée de façon répétée, et une mesure effectuée à l'issue de la pratique par un test explicite. La détermination de l'accès conscient aux régularités acquises repose sur ce test explicite réalisé à l'issue de l'apprentissage. Cette mesure s'est avérée plus difficile à effectuer que prévue (Dulany, Carlson, & Dewey, 1984 ; Jimenez, 1997 ; Perruchet, 1993 ; Perruchet & Pacteau, 1990 ; Shanks & Johnstone, 1999 ; Shanks & St John, 1994).

Diverses tâches ont été utilisées pour déterminer le niveau des connaissances explicites. Tout d'abord ont été utilisés des questionnaires d'explicitation, des interviews, des rappels libres, dans lesquelles l'expérimentateur instaurait, au moyen des instructions

expérimentales du test, une relation explicite entre ce test et la phase de pratique. On a ensuite eu recours à des tâches de reconnaissance ou de prédiction d'événements de la situation, toujours présentés aux sujets en faisant explicitement référence à la phase d'apprentissage afin d'utiliser une condition de test explicite plus similaire à la condition de pratique. Des arguments pour l'emploi de ces tests était d'une part la nécessité de mesurer de façon exhaustive les possibilités d'accès explicite (critère d'exhaustivité), et d'autre part que l'information disponible pour l'exécution de la tâche doit aussi être disponible pour l'accès explicite (critère informationnel) (Shanks & St John, 1994). Ce deuxième type de tests a été dénommé test explicite objectif. Cependant ces tests de reconnaissance ou les tests assimilés (e.g., Dulany *et al.*, 1984), ont été présentés comme «contaminés» par des processus implicites, les sujets répondant dans ces tests par intuition et par des "estimations vagues" qui relèveraient des processus implicites (Reber, Allen, & Regan, 1985). Notons que ce type de critiques, en adoptant le point de vue de ceux qui les émettent, s'adresse aussi aux mesures explicites qu'ils défendent, c'est-à-dire la verbalisation et les questionnaires d'explicitation. Plus précisément, il était proposé que les performances de reconnaissances étaient influencées par des processus perceptifs ou moteurs qui ne sont pas considérés comme explicites (Willingham, Greeley, & Bardonne, 1993). Deux recherches ont infirmé la seconde objection (Buchner, Steffens, Rothkegel, 1998 ; Shanks & Johnstone, 1999), montrant notamment que la facilitation perceptive et motrice des tests de reconnaissance demande davantage de pratique que l'apparition des connaissances explicites sur les régularités environnementales.

L'absence de corrélation entre connaissances explicites et performances a été décrite en particulier dans la tâche de contrôle dynamique (Berry & Broadbent, 1988). Mais une étude a permis d'interpréter différemment les relations entre réponses dans la tâche d'acquisition et réponses au questionnaire (Buchner, Funke, & Berry, 1995). L'absence de corrélation proviendrait du fait que les sujets qui réussissent rapidement dans la tâche n'explorent pas de nombreux états du système avec lequel ils interagissent. En effet, il est possible de maintenir l'état de l'interaction avec le système dans une configuration stable autour d'une performance élevée, atteinte rapidement dans la pratique. Inversement, les sujets peu performants sont confrontés à une grande variété d'états du système. Du fait que les performances au questionnaire explicite étaient fonction de la mémorisation de nombreux états distincts du système, les sujets les plus performants dans la tâche de contrôle étaient les plus faibles dans les réponses au questionnaire. Il est donc apparu que les réponses à des questionnaires explicites post apprentissage étaient étroitement liées aux comportements des sujets dans la tâche durant l'apprentissage.

En résumé, si on ne peut affirmer expérimentalement que des connaissances explicites sont inexistantes, alors on ne peut dire que l'apprentissage est implicite. Si les tests explicites subjectifs sont trop faibles, car réalisés hors du contexte de l'acquisition, mais que les tests objectifs sont trop implicites, alors la preuve de l'absence des connaissances explicites est irréalisable. Une option consiste à remplacer les relations dichotomiques par un continuum entre apprentissage explicite et implicite (Frensch, 1998 ; Reber, 1989). Mais il demeure assez difficile d'entrevoir les questions expérimentalement solubles que ce dernier modèle permettrait de formuler. Enfin, jusqu'où peut-on discuter de la validité des théories de la co-variation ou de la dissociation entre un apprentissage implicite et un apprentissage explicite en se situant au sein du cadre logique fixé par ces deux catégories ?

3.8.2 Echelles temporelles pour la modification des comportements dans l'action et l'accès explicite à cette modification

L'idée d'une primauté du changement de comportement dans l'exécution de la tâche vis à vis de l'accès explicite a été avancée à plusieurs reprises (Brooks, Hilperath, Brooks, Ross, Freund, 1995 ; Mathews, Buss, Stanley, Blanchard-Fields, Cho, & Druhan, 1989 ; Pascual-Leone, Grafman, & Hallet, 1993). Cette idée s'oppose à une théorie qui présente l'acquisition comme la modification de connaissances initialement déclaratives puis progressivement procédurales (Anderson, 1982). Mathews *et al.* (1989) soulignaient que pour une tâche implicite de grammaire artificielle, les descriptions verbales produites par les apprentis s'enrichissent plus tard que dans des tâches plus simples étudiées précédemment (Mathews, Buss, Stanley, & Chinn, 1988). Dans le même ordre d'idée, Stanley, Mathews, Buss, & Kopley-Cope (1989) relevaient que la communication d'instructions produites par des apprentis ne permettait des performances supérieures à celles des sujets contrôles que lorsque ces instructions étaient produites après 570 essais de pratique de la tâche.

Cependant des arguments contradictoires provenaient d'expériences élaborées pour traiter spécifiquement de cette question. Les résultats obtenus dans les tâches de pointage séquentiel en introduisant des tests explicites à plusieurs moments de la pratique, allaient en faveur de l'hypothèse d'un parallélisme entre comportements dans la tâche d'acquisition et accès à ce qui est appris au moyen de tests explicites (Buchner, Steffens, & Rothkegel, 1998 ; Perruchet, Bigand, Benoit-Gonin, 1997 ; Shanks & Johnstone, 1999) ; et parfois même les connaissances explicites précèdent un effet comportemental massif (Perruchet, Bigand,

Benoit-Gonin, 1997). Il demeure que des connaissances explicites émergent avec une pratique prolongée de la tâche dans certains paradigmes, mais dans ces cas de figures, il semblerait que l'amélioration des performances dans la tâche pratiquée requiert elle aussi une pratique prolongée. La difficulté de l'acquisition semble un bon candidat pour expliquer cette échelle de temps étendue pour l'apparition de connaissances explicites.

3.8.3 Les instructions de recherche de régularités dans les paradigmes de l'apprentissage implicite

Comme déjà évoquée, la nature implicite ou explicite des instructions est utilisée pour définir un apprentissage implicite (Nicolas, 1996 ; Reber, 1989 ; Seger, 1994). Les instructions implicites ne révèlent pas l'existence d'une régularité particulière dans les stimuli, et prescrivent le but de la tâche, c'est à dire l'obtention d'un état du système pour le contrôle de processus dynamique, le pointage le plus rapide possible pour le paradigme des pointages séquentiels ou encore l'observation «passive» ou bien la mémorisation de suites de lettres pour l'apprentissage de grammaires artificielles. Différemment, les instructions explicites révèlent l'existence de régularités et conseillent au sujet de rechercher ces régularités pendant la pratique de la tâche⁶.

La comparaison de l'effet des instructions implicites et explicites a été abordée à plusieurs reprises, les résultats révélant un effet négatif des instructions explicites ou parfois une absence d'effet des instructions sur les performances dans la tâche pratiquée (Abrams, 1987 ; Berry & Broadbent, 1987, 1988 ; Danks & Gans, 1975 ; Dienes *et al.*, 1991 ; Frensch & Miner, 1994 ; Hayes, 1987, cité par Broadbent, 1989 ; Jiménez, Méndez, & Cleeremans, 1996 ; Lee & Vakosh., 1996 ; Perruchet & Pacteau, 1990 ; Reber, 1976 ; Reber *et al.*, 1980 ; Stanley *et al.*, 1989).

Dans une revue des travaux sur l'apprentissage implicite, Reber (1989) a détaillé les effets des instructions explicites. Pour des paradigmes d'apprentissage de grammaires artificielles (Reber, 1976 ; Reber *et al.*, 1980) ou apparentés, comme l'apprentissage de concepts (Brooks, 1978 ; Howard & Ballas, 1980), les instructions explicites ont dégradé à plusieurs reprises l'acquisition en comparaison d'instructions implicites. Reber (1989) met cette dégradation sur le compte d'un échec de la recherche de règles par les apprentis, les sujets rapportant des règles fausses en regard de la grammaire utilisée pour les expériences.

⁶ Pour illustration les instructions utilisées par Dulany *et al.*, 1984 figurant p. 544 : "it will be to your advantage if you can figure out what the rules are, which letters may follow others letters, and which one may not. Such knowledge will certainly help you in learning and remembering the items".

En ce sens, les instructions explicites « interféraient » avec l'acquisition (Reber, 1989, p. 223). Par contre, il est apparu que lorsque les suites de lettres similaires sont regroupées lors de la présentation au lieu d'une présentation aléatoire, la recherche induite par les instructions explicites permet un apprentissage (Reber *et al.* (1980).

Reber (1989) proposait quelques explications relatives aux travaux qui ne rapportaient pas de dégradation. L'absence de dégradation peut s'expliquer par l'emploi d'une grammaire plus simple que celle classiquement utilisée (Danks & Gans, 1975), par la présence de composants sémantiques dans les stimuli qui focalisent l'attention sur des aspects pertinents de ceux-ci (Howard & Ballas, 1980), par l'utilisation de suites de lettres plus longues qui facilitent la distinction du début et de la fin de chaque suite (11 au lieu de 8) (Millard, 1981). Par contre l'absence de différences relevée par Abrams (1987) dans une réplique de l'expérience de Reber (1976), semblait difficile à expliquer. En effet, la seule différence entre les deux expériences provenait de l'affichage des instructions sur l'écran du micro-ordinateur servant à l'expérience lors de la réplique au lieu d'une présentation sur papier. Lors de l'expérience menée par Dulany *et al.* (1984), aucune différence entre conditions d'instructions n'apparaissait sans qu'une explication évidente puisse être avancée. Enfin, une autre étude ne trouvait pas de différences entre les deux conditions d'instructions pour l'apprentissage de grammaires artificielles, ni d'interaction entre conditions d'instructions et effet d'une tâche secondaire (Dienes, Broadbent, & Berry, 1991). Ces trois contre exemples affaiblissent considérablement les arguments de la théorie de la dissociation fondés sur les effets des instructions de recherche de règles.

Perruchet (1994b) mettait en avant un autre point de vue pour expliquer cette dégradation : les instructions explicites, parce qu'elles induisent la recherche d'une règle commune à tous les stimuli, réduiraient l'attention investie sur chacun des stimulus afin de les mémoriser individuellement. Les instructions explicites modifient l'orientation de l'attention lors de la présentation de chacune des suites de lettres et détournent ainsi l'attention des aspects pertinents du matériel (Perruchet, 1994b, p.826).

Ces travaux peuvent être rapprochés des travaux qui comparent l'apprentissage intentionnel et l'apprentissage incident de fréquences (Greene, 1984). L'apprentissage, dans les paradigmes d'apprentissage implicite, est décrit souvent comme le produit de la détection de fréquences dans les stimuli présentés (Perruchet, 1994 ; Perruchet, Gallego, & Savy, 1990 ; Underwood & Bright, 1996, p.30). Hayes & Broadbent (1988) considéraient le mode d'apprentissage non sélectif (implicite) comme capable d'agréger des informations sur les fréquences des items rencontrés. De plus, dans le paradigme des grammaires artificielles, les

sujets en condition implicite doivent mémoriser ou observer les items sans connaître la nature du test qu'ils doivent à l'issue de la phase d'étude, ce qui s'apparente à un apprentissage incident. Dans l'étude sur l'apprentissage de fréquences réalisée par Greene (Greene, 1984), les sujets intentionnels, c'est-à-dire informés à l'avance du fait que le test portait sur la mémorisation des fréquences, avaient de meilleures performances que les sujets incidents, non informés à l'avance de la nature du test. Ces résultats étaient obtenus dans des tâches distinctes de celles des paradigmes de l'apprentissage implicite, en effet lors de l'acquisition les sujets devaient exécuter une tâche sur les items (nommer des dessins, résoudre des anagrammes) alors que le test était un test de mémoire des fréquences des items rencontrés.

Une expérience de la même nature sur l'apprentissage incident de fréquences complétait les résultats de Greene (1984), montrant que des instructions encourageant la mémorisation du nombre d'apparition de chaque item pouvait ralentir le temps mis pour identifier le matériel lors du test. Mais un deuxième type d'instructions demandant aux sujets de se préparer en priorité à une tâche de mémorisation de fréquence et de considérer la tâche de la phase d'acquisition comme secondaire n'entraînait pas une dégradation des performances lors du test (Hasher, Zacks, Rose, & Sanft, 1987, expérience 4). D'autres études de l'apprentissage incident, menées dans des tâches motrices engageant la mémorisation de positions spatiales, indiquaient qu'un apprentissage intentionnel s'avérait plus efficace qu'un apprentissage incident (Crocker & Dickinson, 1984 ; Crocker & Wilberg, 1985 ; Dickinson, 1977 ; 1978 ; Ho & Shea, 1979).

3.8.4 L'hypothèse de surcharge des ressources cognitives par le traitement des instructions

L'interprétation de la surcharge de traitement repose sur l'idée que, du fait de la pression temporelle sur la réponse et de la limitation des ressources cognitives, notamment en attention (Baddeley, 1986 ; Broadbent, 1977), le sujet ne peut "casser le code" de la grammaire, c'est-à-dire ne peut induire la grammaire complète à partir des exemplaires présentés. L'hypothèse de surcharge est souvent reprise pour expliquer les effets négatifs des instructions (Fayol, 1994 ; Ganier, Gombert, & Fayol, 2000). Dans le cas des paradigmes de l'apprentissage implicite, l'idée de surcharge est associée à la complexité de la structure de la situation définie à partir du nombre de règles, du nombre d'états distincts de la situation et leurs connexions mutuelles, et de l'évolution de la situation dans le temps (Seger, 1994). Cette hypothèse repose sur le raisonnement qu'un homme dont les ressources cognitives ne sont pas

limitées serait capable de découvrir la grammaire complète qui est utilisée pour produire les exemplaires. Dans le cas considéré, les ressources sont limitées du point de vue de la complexité algorithmique de la grammaire et de la difficulté à mémoriser les épisodes de confrontation avec l'environnement qui se succèdent dans le temps de façon irréversible. Une preuve apparente au crédit de cette idée est le succès de l'induction de règle pour des tâches expérimentales utilisées dans d'autres paradigmes (Mathews *et al.*, 1988). Cette difficulté à trouver les règles du système persiste dans le cas des grammaires artificielles quand le sujet dispose d'artefacts cognitifs facilitant la mémorisation, par exemple la prise de notes écrites pendant la pratique (Mathews & Cochran, 1998). L'induction des règles semble le plus souvent dégrader la performance ou n'a pas d'effet observable sur les variables de performances. Ainsi l'apprenti ne semble pas capable d'induire la grammaire complète et s'engage alors dans un mode d'exécution de la tâche infructueux qui ne doit pas être compris comme une tâche secondaire ajoutée à un apprentissage implicite mais comme un comportement inadapté.

Mathews *et al.* (1989, p. 1099) modifiaient la définition de Hayes & Broadbent (1988), en proposant que le mode non sélectif d'apprentissage ne soit pas indépendant de la mémoire de travail. Ce mode d'exécution de la tâche exclut ou entre en compétition avec d'autres modes d'exécution, ce qui entraîne une déstabilisation de ceux-ci. Cette position rejette l'idée que le mode non sélectif partage des ressources générales avec un mode d'exécution sélectif. D'autre part, dans une condition d'acquisition sans instructions de recherche de règle, la recherche de règle demeure potentiellement une des stratégies utilisées par le sujet, car celle-ci fait partie des heuristiques générales des individus. Les instructions implicites ne garantissent donc pas une absence de recherche spontanée (Jimenez, 1997).

3.8.5 Instructions qui décrivent les régularités dans les paradigmes de l'apprentissage implicite

3.8.5.1 Tâches de grammaires artificielles

Reber *et al.* (1980) fournissaient des instructions explicites accompagnées d'un diagramme de la grammaire artificielle. Ces instructions étaient communiquées pour un groupe au début de l'acquisition, pour un autre groupe après le déroulement d'une partie de la phase d'observation passive des stimuli, et pour un dernier groupe après que la phase d'observation a été entièrement accomplie. Les résultats indiquaient que plus les instructions étaient fournies tôt dans l'acquisition, plus elles s'avéraient efficaces. Selon Reber (1989,

p.224), ces instructions n'enseignaient pas la grammaire de façon complète ou explicite mais orientaient l'attention des sujets sur les aspects invariants des stimuli. Une fois cette orientation réalisée, les sujets pouvaient alors apprendre par eux-mêmes à distinguer les suites de lettres au cours de la phase d'observation.

3.8.5.2 La production d'instructions et leur utilisation par des sujets « couplés »

Une expérience menée par Mathews *et al.* (1989) sur l'apprentissage d'une grammaire artificielle explorait les effets des instructions produites par des apprentis. Les résultats indiquaient que des descriptions verbales du comportement, réalisées par des apprentis au cours de leur pratique de la tâche, permettaient à des novices de réaliser des performances supérieures à celles de sujets contrôles n'ayant pas pratiqué la tâche et ne recevant pas d'instructions. Cette étude mérite un développement. Une partie des ambitions affichées par le groupe de Mathews résidait dans l'utilisation d'une méthode affinée d'explicitation (dénommée « teach aloud procedure », Mathews *et al.* , 1989, p.1084). Cette recherche se caractérisait par d'autres aménagements dus au choix d'une échelle de temps plus grande pour étudier les effets de la pratique de la tâche, soit 10 heures au lieu de 7 minutes d'observation « passive » pour les travaux de Reber et collaborateurs.

Dans un premier temps il était demandé aux apprentis de produire des instructions pour un pair, ce qui s'apparente à la méthode dite « du sosie » utilisée pour l'étude de protocoles verbaux. Les instructions expérimentales données aux apprentis pour la réalisation de leur description stipulaient que cette description devait servir à un partenaire⁷ pour exécuter la tâche de façon identique à leur propre exécution⁸. Un aspect important sur lequel insistaient les expérimentateurs était que la description devait être la plus complète possible sans qu'il soit besoin d'être éloquent, et qu'il était moins important pour le producteur d'être correct que de faire en sorte que le partenaire se comporte exactement de la même manière que lui-même lors du bloc d'essai décrit (Mathews *et al.*, 1989, p.1087). D'autre part, la méthode de vérification de la validité des verbalisations n'était pas une analyse détaillée du contenu des instructions produites, mais la mesure de leur effet sur le comportement dans la tâche de sujets dits « couplés » (notre traduction de « yoked ») qui recevaient chacun la description d'un des apprentis, comparativement à des sujets contrôles. Comme annoncé-ci

⁷ littéralement le terme employé était celui de "unseen partner"

⁸ "to record instructions for their partner so that he or she could perform the task "just like you did" "(Mathews *et al.*, 1989, p.1087)

dessus les résultats indiquaient une utilité des instructions pour réaliser la tâche de discrimination.

Faire produire les instructions par des apprentis peut constituer une méthode efficace pour éviter que les instructions soient inadaptées à ce qui est effectivement appris dans une tâche. Cependant, une étude a montré que ce type d'instructions ne garantissent pas une réussite systématique (Verdolini & Balotta, 1994). Les auteurs ont émis l'hypothèse que des instructions sur la procédure d'exécution de la tâche faciliterait un test de mémoire implicite à l'issue d'une pratique de la tâche. Les instructions utilisées étaient collectées lors d'une étude pilote en demandant à des sujets de produire des instructions verbales après avoir eux-mêmes pratiqué la tâche. La tâche utilisée pour l'étude consistait en la poursuite visuo-motrice d'une cible placée sur un disque animé d'un mouvement de rotation à vitesse constante, connue sous le nom de « pursuit rotor task ». Le sujet devait maintenir une baguette le plus longtemps possible en contact avec la cible. Sur un total de 50 sujets qui participaient à l'étude pilote, 24 ont produit des instructions décrivant la tâche comme consistant à faire tourner une balle (« stirring in a ball : the target path », page 743), 12 comme consistant à utiliser la baguette comme un piston de locomotive sur une roue (« to view the circular target as a wheel on a locomotive and to view the tracking wand as a rod attached to the target light on the wheel as it turned », page 745), 5 sujets comme consistant à dessiner un cercle. Les instructions produites par les 9 sujets restant ne sont pas précisées dans l'article. Les deux premières métaphores ont été choisies dans la suite de l'expérience.

Les résultats indiquaient que les instructions qui décrivaient le mouvement ne facilitaient pas les performances dans le test implicite en comparaison d'une condition de pratique de la tâche sans instructions (expérience 3). L'absence d'effet des instructions sur les performances du mouvement peut être expliquée par le fait que la tâche ne nécessitait pas l'acquisition d'une nouvelle coordination et dès lors l'apport d'une métaphore qui décrivait la forme générale du mouvement ne se justifiait pas. Cette métaphore pourrait s'avérer totalement redondante avec ce que l'apprenti sait faire de façon autonome dès les premiers essais. Les instructions sur le mouvement pouvaient éventuellement permettre de réduire les erreurs dans les premiers essais d'exécution, mais n'avaient pas d'effets à plus long terme sur l'acquisition.

3.8.5.3 Tâches de pointages séquentiels

Dans le paradigme des séquences de pointage la comparaison d'un apprentissage sans instructions et d'un apprentissage avec des instructions comportant une description de la séquence montrait que les instructions explicites permettaient la réduction la plus rapide et la plus forte des temps de réaction (Curran & Keele, 1993, exp. 1).

3.8.5.4 Tâches de contrôle de processus

Les tâches de contrôle de processus dynamiques ont aussi servi à explorer les effets des instructions spécifiques. Rappelons que dans ces tâches le sujet doit augmenter la production d'une usine virtuelle en choisissant le nombre d'ouvriers engagés à chaque essai. La production produite est fonction du nombre d'ouvriers engagés (O , soit l'input) mais aussi de la production obtenue à l'essai précédent ($p(n-1)$). De plus une valeur (a) est ajoutée au résultat obtenu, choisie de façon aléatoire parmi trois valeurs $\{+ 1000 ; - 1000 ; 0\}$. Ainsi le résultat de l'action du sujet peut s'écrire : $p(n) = 20.O - p(n-1) + a$. Il est à noter qu'une deuxième tâche a été élaborée sur la même base, cette fois le sujet interagit avec une personne virtuelle et la fonction qui relie le comportement d'entrée et la réponse de la personne virtuelle est similaire à celle utilisée pour l'usine virtuelle.

Cleeremans (1986, cité par Luc, Marescaux et Karnas, 1989) réalisa une expérience sur les effets des instructions décrivant les variables pertinentes et la structure du système à contrôler. Les instructions communiquées par Cleeremans aux participants expliquaient que les ouvriers exécutaient deux tâches : emballer la production de l'essai précédent et gérer les machines afin de produire l'essai actuel. Les résultats de cette étude indiquaient un effet positif des instructions. Luc *et al.* (1989) communiquaient quant à eux des instructions qui spécifiait que le nombre d'ouvriers et la production précédente devaient être pris en compte⁹. Ces instructions n'ont pas amélioré l'acquisition en comparaison d'une condition sans instructions. Cependant, il est notable que les résultats du groupe qui n'a pas reçu d'instructions diffèrent de ceux rapportées dans la littérature (Berry & Broadbent, 1984), aucun apprentissage n'étant observé dans cette expérience. De plus l'importance de la variance du groupe pour les sujets ayant utilisé des instructions semblerait expliquer l'absence d'effets statistiques de la manipulation. L'étude de cette variabilité individuelle n'a pas été poussée plus avant bien que déjà observée dans cette tâche (Karnas & Cleeremans, 1988).

⁹ "la production d'un cycle dépend de la production atteinte au cycle précédent ainsi que de la force de travail que vous entrez pour ce cycle", Luc *et al.* (1989), instructions figurant p.498

Les travaux de Stanley et al. (1989) clarifient les rapports entre les performances dans la tâche de contrôle de processus dynamique et la description verbale de la façon dont ces performances sont accomplies par les apprentis. Ces recherches ont été réalisées de façon concomitante et par la même équipe que les travaux rapportés dans Mathews *et al.* (1989). Les sujets devaient produire des instructions dans des conditions semblables à celles mises au point par le groupe de Mathews et la méthode rejoint celle déjà exposée. Les résultats sont similaires, cependant le délai entre l'amélioration des performances dans la tâche et l'enrichissement du contenu de la description de l'exécution est plus important que dans le cas de l'acquisition d'une grammaire artificielle. D'autre part, le contenu des instructions produites par les apprentis semblait, dans le cas des grammaires artificielles, se limiter à la description des items rencontrés, alors que dans la tâche de contrôle de processus dynamique ces instructions comportaient des descriptions de paires spécifiques condition-actions, (associations entre l'état de la production de l'usine virtuelle et le choix d'un nombre d'ouvriers effectué), ainsi qu'une description générale de la dynamique du système¹⁰. Une autre expérience a été réalisée sur le modèle de Stanley *et al.*, (1989), mais cette fois, à la place d'une communication par l'intermédiaire d'une transcription écrite, les instructions étaient communiquées directement par les sujets qui les ont produites (Marescaux, 1997). Les effets des instructions sur l'acquisition pour la tâche de contrôle sont identiques à ceux rapportés par Stanley *et al.* (1989). Les résultats confortaient ceux obtenus dans les études précédentes, de plus il apparaissait que les descriptions produites étaient riches plus tôt dans l'acquisition qu'il n'était rapporté par Stanley *et al.* (1989).

Les études sur les effets d'instructions spécifiques sont peu nombreuses. Les résultats obtenus dans les trois paradigmes classiques de l'apprentissage ont mis en évidence un effet distinct des instructions de recherche de régularités et des instructions qui décrivaient ces régularités. A plusieurs reprises il est apparu que des instructions spécifiques pouvaient aider l'acquisition, l'analogie parfois avancée lors de l'acquisition de coordination motrice ou de régularités dans des tâches visuo-motrices, entre effets négatifs des instructions spécifiques et effets des instructions de recherche de règles semble donc aujourd'hui difficile à défendre.

3.9 Conclusion

¹⁰ "when you are talking to someone and you want them to be polite you should be polite to them", Stanley *et al.*

Une des avancées majeures dans l'étude de l'apprentissage implicite a été la démonstration que ce qui était appris sans instructions n'était pas une règle tacite abstraite, comme initialement proposé par Reber (Reber, 1967 ; 1969), mais des régularités partielles présentes dans le matériel. L'apprenti sans instructions verbales n'apprendrait pas l'ensemble de la syntaxe pour les grammaires artificielles ou de la séquence pour les tâches de pointage, ou encore le système complet d'équations dans les tâches de contrôle de processus. Cette démonstration a été accomplie expérimentalement à plusieurs reprises (Dienes, Broadbent, & Berry, 1991 ; Dulany *et al.*, 1984 ; Perruchet & Pacteau, 1990 ; Perruchet *et al.*, 1990 ; Servan-Schreiber & Anderson, 1990 ; Vokey & Brooks, 1992). Dès lors, la question des rapports entre processus implicite et explicite se pose dans d'autres termes. Comment s'étonner que l'accès à ce qui est appris dans des tâches explicites ne soit pas exhaustif si le comportement dans la tâche d'acquisition ne se caractérise pas par une utilisation complète des régularités ? Cette nouvelle vision des relations entre processus implicite et processus explicite nous conduit à délaissier la question de l'accès conscient et explicite aux régularités acquises.

Plusieurs études, au sein des trois paradigmes classiques de l'apprentissage implicite, ont montré que des instructions spécifiques pouvaient aider l'acquisition. Ces résultats remettent en question l'analogie réalisée entre les effets négatifs des instructions observés dans les tâches motrices et les effets négatifs des instructions de recherche de règle relevés dans l'acquisition de grammaires artificielles (Reber, 1976) et de contrôle de processus dynamique (Berry & Broadbent, 1984).

Il semble donc prématuré de considérer que l'utilisation d'instructions verbales détermine un apprentissage plus conscient qu'un apprentissage sans instructions. En effet, si le produit de l'interprétation des instructions verbales est explicite, par contre les effets des instructions sur l'exécution de la tâche et l'acquisition ne le sont pas. A l'issue de cette revue de question il nous semble préférable de qualifier l'apprentissage sans instructions verbales d'apprentissage par la découverte et non pas d'apprentissage implicite.

Pour autant, les études disponibles sont loin de rapporter une réussite systématique des instructions. Les effets des instructions verbales sur l'apprentissage de coordination motrices et de régularités environnementales sont encore difficiles à prédire de façon précise, et les sources possibles d'échecs des instructions sont encore très mal connues. Des instructions

peuvent aider l'apprentissage à condition que la procédure qu'elles communiquent se « coordonne » à ce qu'un apprenant peut apprendre dans la tâche considérée (Reber, 1989), et plus précisément encore à ce qu'il est capable d'apprendre quand des instructions sont ajoutées aux autres contraintes de la tâche. Il est apparu au travers de quelques études réalisées sur l'acquisition de coordinations motrices que de petites variations dans les instructions pouvaient conduire à des effets immédiats sur le processus d'apprentissage, et aussi à des effets qui s'étendaient sur des échelles de temps plus importantes. Nous avons constaté au travers de l'étude de Wulf & Weigelt (1997), que la production d'une description verbale simple qui résumerait ce qui est appris dans ces tâches impose des choix face à un nombre important de discours possibles, autant vis-à-vis de ce qui doit être décrit que du lexique employé. Ces choix doivent porter, les paramètres du mouvement, la variabilité et les fluctuations du mouvement et tenir compte des stades de l'apprentissage. Dans l'acquisition de régularités pour des tâches motrices, les contraintes sur le processus d'apprentissage semblent déterminées par les deux composants de la tâche : la structure des régularités et l'action motrice qui doit être exécutée. Dans ce type de situation, les contraintes imposées à l'extraction et à l'utilisation des régularités en condition d'apprentissage par la découverte ou à l'utilisation des instructions quand celles-ci sont communiquées, diffèrent de celles rencontrées dans les paradigmes de l'apprentissage implicite. Dans les tâches d'interception et de poursuite manuelle de cibles mobiles, des informations visuelles sont utilisées en cours du mouvement pour assurer la précision temporelle et spatiale de l'exécution de la réponse, les régularités doivent donc être extraites parallèlement à ce contrôle visuo-moteur. Ces contraintes diffèrent de celles imposées par la perception visuelle de stimuli composés de lettres propres à la discrimination dans les grammaires artificielles, par le contrôle de système dynamique sur la base des relations entre le choix d'une valeur numérique et la réponse du système virtuel, et enfin par les réponses d'appui sur des boutons dans la tâche de pointage séquentiel.

A ce jour les effets des instructions qui décrivent la situation pour l'acquisition de régularités dans des tâches d'interception ou de poursuite ont été peu explorés. Des effets négatifs des instructions étaient montrés quand les régularités étaient probabilistes. Par contre, plusieurs travaux ont mis en évidence que des instructions verbales sur la situation pouvaient faciliter le transfert. Nous nous proposons de poursuivre l'exploration des effets des instructions verbales sur l'acquisition et le transfert dans une tâche d'interception simulée sur micro-ordinateur.

Chapitre IV

Problématique générale des expériences

Le cadre théorique du présent travail a fait l'inventaire des travaux réalisés dans l'étude des effets des instructions sur l'acquisition de régularités environnementales et sur l'acquisition de coordinations motrices. Nous avons montré que l'étude des instructions verbales dans ce domaine est souvent abordée à partir de l'opposition entre un apprentissage implicite et un apprentissage explicite (Green & Flowers, 1991 ; Magill, 1998 ; Magill & Clark, 1997 ; Masters, 1992 ; Wulf & Weigelt, 1997). L'utilisation de cette dissociation a été analysée dans le chapitre III, à partir des travaux récents relatifs à l'apprentissage implicite, et en prenant appui sur des études de l'acquisition d'habiletés perceptivo-motrices. L'utilisation de la dissociation entre apprentissage implicite et apprentissage explicite provient des échecs des instructions verbales. Selon ce point de vue, les effets négatifs des instructions verbales seraient dus à la recherche intentionnelle et consciente des régularités. Cependant les effets des instructions sur les régularités environnementales semblent différer des effets des instructions sur les coordinations motrices. À plusieurs reprises, notamment dans les situations de l'apprentissage implicite, les instructions sur les régularités ont eu des effets positifs sur l'apprentissage alors que les instructions sur les coordinations ont fréquemment des effets nuls ou négatifs.

La contribution expérimentale du présent travail va porter sur l'acquisition de régularités environnementales pour une tâche d'anticipation-coïncidence. En regard des résultats relevés dans la littérature pour ce type d'apprentissage, les instructions qui décrivent les régularités ne semblent pas identiques aux instructions de recherche de règle. Néanmoins, les conditions des effets positifs des instructions sur l'apprentissage sont mal connues dans ce

type de tâche, pour laquelle un effet négatif des instructions a été relevé (Green & Flowers, 1991). Cet effet négatif des instructions verbales dans une tâche d'interception de cibles mobiles serait lié à la nature probabiliste des régularités acquises (Magill, 1998 ; Magill & Clark, 1997). L'objectif général des expériences 1 et 4 est de préciser la nature des effets négatifs des instructions qui décrivent les régularités présentes dans la situation dans une tâche d'interception manuelle de cibles simulée sur micro-ordinateur. Dans cette perspective, l'expérience 1 est réalisée afin de déterminer si l'échec des instructions est spécifique à la nature probabiliste des régularités. Cette première expérience mesure les effets des instructions pour l'acquisition de régularités dites déterministes, dont la valeur de probabilité est égale à 1. De plus, une situation de transfert est introduite à l'issue de l'acquisition des régularités afin de tester l'hypothèse d'une facilitation du transfert analogique par les instructions. Les expériences 2 et 3 constituent des études complémentaires à l'expérience 1.

Dans l'expérience 4, des régularités probabilistes sont utilisées dans le but de préciser si elles induisent un effet négatif des instructions. Dans cette nouvelle expérience, l'étude du transfert est reconduite.

La cinquième expérience est réalisée dans le but de tester une hypothèse qui est apparue à plusieurs reprises lors de notre revue de la littérature. Cette hypothèse concerne l'effet du moment de communication des instructions (Mathews *et al.*, 1989, expérience 4 ; Reber *et al.*, 1980 ; Wulf & Weigelt, 1997, expérience 2). Il semble intéressant de comparer l'influence des instructions communiquées au début de l'acquisition et des instructions qui sont communiquées à la suite d'une étape de pratique de la tâche sans instructions. La communication des instructions suite à un apprentissage par la découverte peut permettre à l'apprenti un choix plus large parmi les diverses stratégies possibles que lorsque la communication a lieu avant toute pratique de la tâche.

Chapitre V

Expérience 1

5.1 Objectifs de l'expérience

L'idée qui se dégage de la littérature sur le rôle des instructions dans des tâches perceptivo- motrices est que les instructions verbales soit ne bénéficient pas à l'apprentissage, soit produisent un effet négatif sur celui- ci. A titre d'exemple, des instructions verbales qui décrivaient des régularités probabilistes, associant un indice visuel préparatoire et les trajectoires des cibles, entraînaient des performances globales inférieures à celles réalisées sans instructions (Green & Flowers, 1991). Selon les auteurs, le maintien en mémoire et l'application des instructions ont entraîné une surcharge de traitement cognitif qui a dégradé les performances. La tâche utilisée par Green & Flowers (1991) comprenait deux aspects distincts : (1) une tâche d'interception qui requiert un ajustement fin entre perception et contrôle du mouvement et impose donc de fortes contraintes perceptivo-motrices, et (2) des régularités environnementales de nature probabiliste qui permettent d'anticiper l'interception. On peut se demander si l'effet négatif des instructions relevé par Green & Flowers (1991) est plutôt lié aux contraintes perceptivo-motrices de la tâche ou à la nature probabiliste des régularités environnementales. Sur la base de travaux réalisés dans une tâche de poursuite visuo-manuelle (Magill & Clark, 1997), Magill (1998) faisait l'hypothèse que l'effet négatif des instructions sur la précision spatiale dans la tâche d'interception est lié spécifiquement aux régularités probabilistes.

Nous faisons l'hypothèse que si les contraintes perceptivo-motrices de l'interception sont associées à des régularités déterministes, alors les instructions devraient avoir un effet positif sur l'apprentissage.

Le premier objectif de cette première expérience est donc d'explorer les effets des instructions verbales sur l'acquisition de régularités déterministes dans une tâche d'interception. Nous comparons dans cette expérience un groupe d'apprentis informés verbalement des régularités de la situation et un groupe d'apprentis non informés de ces régularités.

Le deuxième objectif de cette expérience est de vérifier l'hypothèse selon laquelle les instructions verbales facilitent le transfert de l'acquisition à de nouvelles régularités. Dans ce but, une situation de transfert, dans laquelle les régularités déterministes sont modifiées, fait suite à la phase d'acquisition. Les instructions verbales semblent faciliter le transfert quand les régularités de la situation sont modifiées (Ervin, 1960 ; Hendrickson & Schroeder, 1941 ; Judd, 1908). Dans cette expérience la modification des régularités lors du transfert porte sur les combinaisons entre indices visuels et trajets, par contre la structure déterministe des régularités de l'acquisition est conservée. De fait, seule la structure des régularités du transfert est homologue à celle de l'acquisition. La modification des combinaisons indices- trajets peut entraîner soit un second apprentissage des régularités, soit un transfert des régularités présentes dans la phase d'acquisition. Nous prédisons une facilitation du transfert quand des instructions sont communiquées en comparaison d'une acquisition par la découverte.

En résumé, cette expérience porte sur les effets des instructions verbales qui décrivent l'environnement sur l'acquisition et le transfert de régularités déterministes dans une tâche d'interception.

5.2 Méthode

5.2.1 Sujets

Vingt quatre étudiants volontaires de l'université Paul Sabatier, 14 hommes et 10 femmes, possédant une vision normale ou corrigée, et âgés de 19 à 24 ans, participent à l'expérience. Les conditions requises pour participer sont de ne pas pratiquer des sports de raquette ou des jeux sur micro- ordinateur.

5.2.2 Matériel

L'expérience est contrôlée par un micro-ordinateur Macintosh équipé d'un écran noir et blanc de 21 pouces, et relié à une table à digitaliser. La table à digitaliser qui est utilisée est du type Wacom™. L'interface et la collection des données sont réalisées à l'aide d'un programme écrit en langage QuickBasic™. Les coordonnées du stylet sur la table sont collectées par le micro-ordinateur avec une fréquence de 60 Hz durant les 1980 ms d'un essai, avec une précision spatiale meilleure que 0,5 mm (de l'ordre d'un pixel, soit 0,35 mm). Les données sont stockées sur le disque du micro-ordinateur sous un format texte pour un traitement ultérieur.

5.2.3 Stimuli

La fenêtre de l'interface élaborée pour l'expérience mesure 27,5 cm de haut et 38 cm de large. Cette interface est composée d'une raquette virtuelle représentée par un rectangle (largeur égale à 1 cm) ainsi que d'une cible représentée par un cercle (diamètre égal à 0,56 cm), d'une ligne horizontale qui matérialise l'axe sur lequel l'interception doit avoir lieu, et enfin de 5 indices préparatoires (largeur et hauteur égales à 0,56 cm) (voir figure 5.1).

Le point de départ des trajets est situé en haut de l'écran, au centre suivant l'axe horizontal. Les trajets sont composés de 3 segments de droite. La hauteur totale des trajets est de 21,5 cm. La première partie des trajets, composée par deux segments de droite est invariable entre les essais. Les indices préparatoires sont affichés pendant ce trajet initial. A la suite de la partie invariable des trajets, la cible peut prendre une parmi quatre directions (loin à gauche, près à gauche, loin à droite, près à droite). Ces directions déterminent l'amplitude du déplacement de la raquette virtuelle requise pour toucher la cible, 9,6 cm ou 7,7 cm à gauche ou à droite, mesurée depuis la position de départ située au centre de l'écran.

Lors de l'acquisition, 4 formes géométriques particulières sont associées chacune à un des 4 trajets de la cible de façon déterministe. De plus, une cinquième forme géométrique n'est associée à aucun trajet particulier.

Tableau 5.1 : paramètres métriques et temporels des trajets des cibles. La durée totale des trajets est de 1980 ms.

Segments	Longueur du segment	Durée du segment
Premier	18,2 cm	660 ms
Second	17,7 cm	820 ms
Troisième court	12,5 cm	500 ms
Troisième long	15,3 cm	500 ms

Les formes géométriques sont affichées à la place de la cible pendant le second segment du trajet et se déplacent à la vitesse de la cible de manière à ne pas introduire une rupture de la poursuite de la cible. Pendant cet affichage, la cible disparaît durant 100 ms et un des 5 indices apparaît à sa place. Les indices apparaissent 60 ms après le début du second segment et 660 ms avant le début du dernier segment. La durée qui sépare la fin d'apparition de l'indice et l'interception est de 1100 ms.

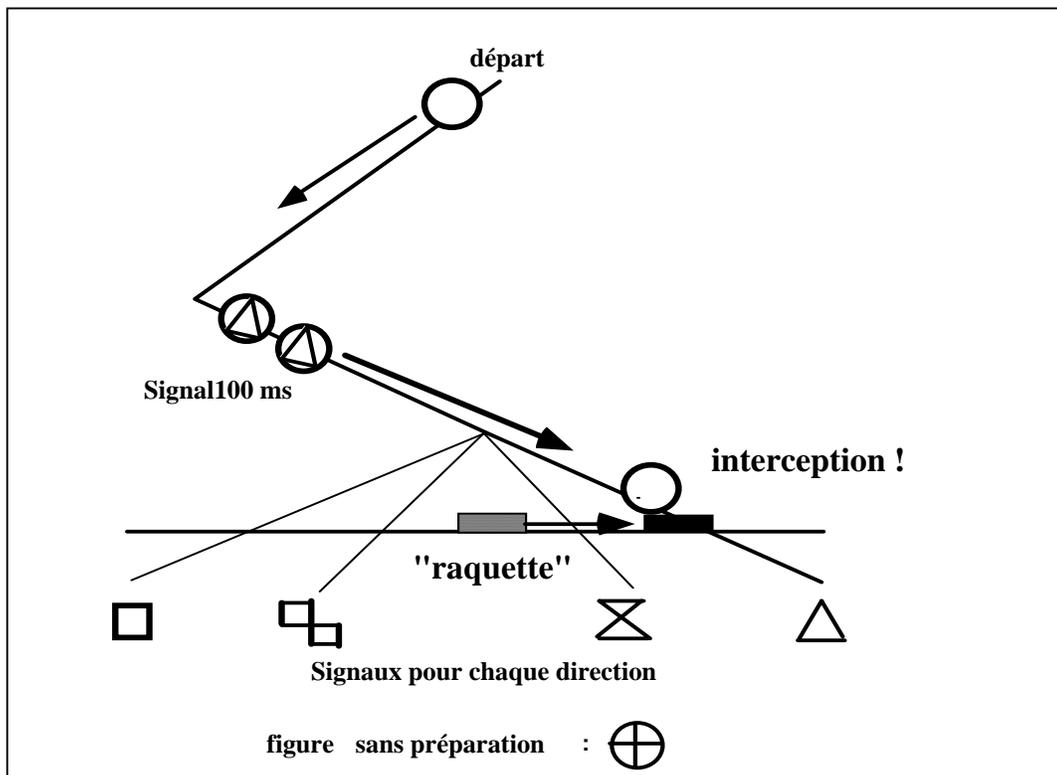


Figure 5.1 : présentation schématique de l'interface de l'interception simulée. Les 4 signaux préparatoires sont représentés sous les trajets auxquels ils sont associés, ainsi que la figure qui est associée à aucun trajet particulier et ne permette aucune préparation de l'action.

5.2.4 Tâches

L'expérience comprend une tâche d'interception et un questionnaire d'explicitation.

5.2.4.1 Tâche d'interception

Les sujets doivent exécuter une tâche d'interception de cible dans un environnement déterministe. A chaque essai, une cible se déplaçant sur l'écran doit être interceptée au moyen d'une raquette virtuelle positionnée sur un axe horizontal, situé dans la partie basse de l'écran. La tâche prescrite est d'intercepter la cible le plus précisément possible en cherchant à intercepter la cible au centre de la raquette. La raquette peut être déplacée au moyen d'un stylet sur l'axe horizontal exclusivement. Du fait de la largeur de la raquette et du diamètre de la balle, la précision requise pour une interception est de 1,61 cm.

Le sujet est assis à environ 90 cm de l'écran et déplace manuellement un stylet sur une table à digitaliser (voir figure 5.2). Une barre en bois lisse de section carrée (largeur=33 cm) est fixée sur la tablette afin de guider les déplacements de la main sur l'axe horizontal. L'axe de déplacement du stylet est parallèle au cadre de l'écran du micro-ordinateur. La distance entre l'axe de déplacement de la main sur la table et l'écran est de 50 cm.

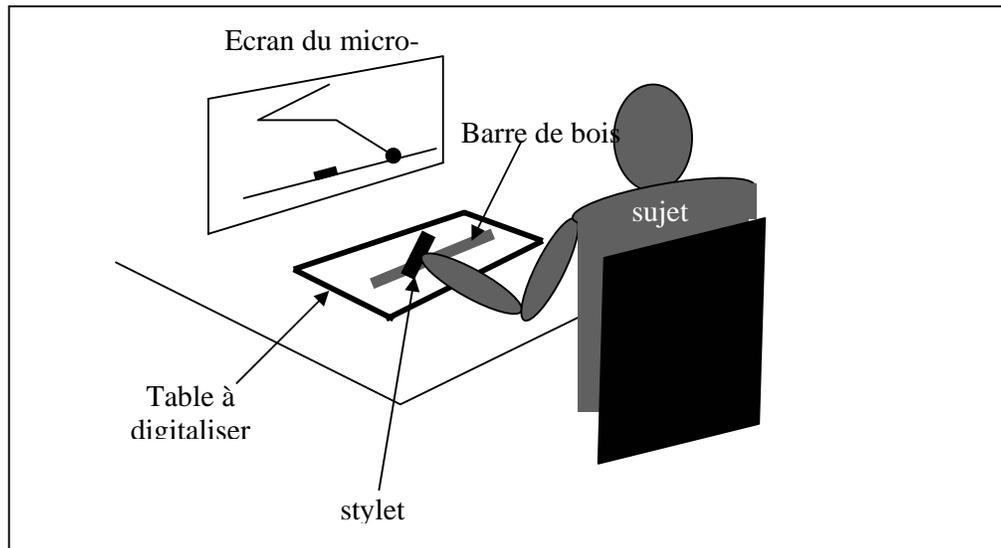


Figure 5.2 : schéma du dispositif expérimental, l'échelle n'est pas respectée

Les mouvements des sujets ne sont pas contraints à l'exception de l'obligation de poser le coude du bras qui manipulait le stylet sur la table. La distance entre l'axe du déplacement du stylet et le bord de la table est de 24 cm.

L'essai commence un court instant après que le sujet place la raquette au centre de l'écran. Une connaissance des résultats est affichée après chaque essai et indique si l'essai est réussi ou raté, quand l'essai est raté la valeur de l'erreur spatiale absolue de l'essai est affichée. De plus, après 16 essais consécutifs, le pourcentage d'essais réussis lors des blocs de 16 essais consécutifs réalisés est indiqué.

5.2.4.2 Questionnaire d'explicitation

Lors de la présentation du questionnaire les sujets doivent répondre oralement à la série de questions suivante :

- décrivez la manière dont vous exécutiez la tâche
- avez vous remarqué des régularités particulières dans la situation ?
- avez vous remarqué des formes géométriques affichées pendant le trajet de la cible ?
- pouvez vous rappeler quelles étaient ces formes géométriques ?
- avez vous utilisé ces indices visuels pour intercepter les cibles ?
- pouvez vous rappeler les relations entre indices visuels et trajectoires des cibles ?

5.2.5 Protocole expérimental

L'expérience se déroule dans une pièce calme munie d'un éclairage constant. Tous les participants sont testés individuellement. Comme le montre la figure 5.3 L'expérience comporte 3 phases. Dans une première phase d'acquisition les sujets exécutent 10 blocs de 32 essais d'interception, puis dans la deuxième phase de transfert les sujets exécutent 5 blocs de 32 essais. Pendant le transfert les relations entre signaux et trajets sont changées pour aboutir à ce que chaque signal soit associé à un trajet qui diffère par la longueur et la direction par rapport à l'acquisition. Le passage de la phase d'acquisition au transfert est réalisé sans aucune transition et sans que les sujets soient informés du changement des régularités. A la suite de la tâche de transfert, un questionnaire est présenté oralement aux sujets.

Dans une série de 16 essais successifs les 4 indices préparatoires associés à une seule position apparaissent chacun trois fois et l'indice neutre apparaît quatre fois, une fois pour

chaque position. La succession des essais est une suite pseudo- aléatoire dont les triplets et les doublets d'essais identiques sont éliminés. Trois suites pseudo- aléatoires sont utilisées de manière équilibrée dans chaque groupe.

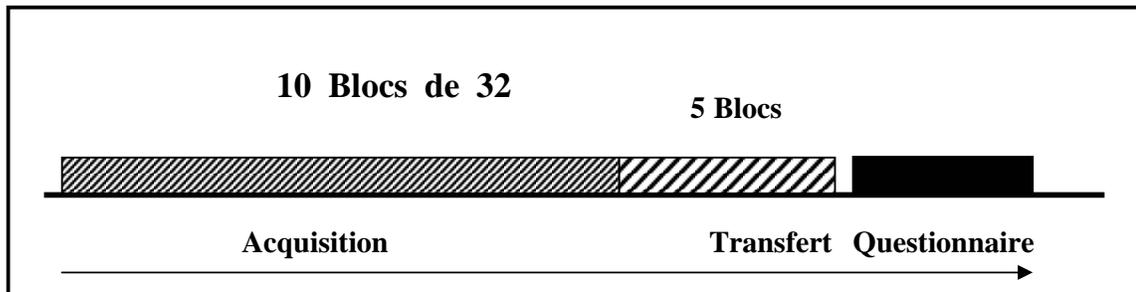


Figure 5.3 : présentation schématique de la procédure expérimentale.

La tâche est présentée oralement à tous les sujets. A la suite des consignes expérimentales, la moitié des sujets commencent l'exécution de la tâche sans recevoir d'instructions sur les régularités de la situation. L'autre moitié des sujets réalise la tâche d'interception après avoir entendu les instructions qui décrivent les régularités associant signaux et trajets des cibles. Après la communication des instructions, les sujets doivent être capable de répéter intégralement et sans erreurs les relations entre indices et trajets avant de commencer la pratique de la tâche. L'expérimentateur lit toujours deux fois les instructions avant de demander au sujet de les répéter. Une troisième lecture est effectuée si nécessaire.

Les instructions originales utilisées pour l'expérience :

Après le premier changement de direction de la cible, la cible disparaît et une figure géométrique apparaît pendant un court instant. Cette figure prédit la direction finale de la cible. Je vais décrire les relations entre les quatre formes géométriques et les trajets des cibles, vous devez les mémoriser afin d'être capable de les répéter intégralement et sans erreurs. Je décrirai une deuxième fois ces relations. Les direction des cibles sont définies par rapport au centre de l'écran. Quand un carré apparaît, la direction est loin à gauche. Quand deux triangles qui se touchent par le sommet apparaissent, la direction est loin à droite. Quand un triangle apparaît, la direction est près à droite. Quand deux carrés accolés apparaissent, la direction est près à gauche. La cinquième figure qui peut apparaître est une croix, cette figure ne prédit aucune direction.

Pour s'assurer de la mémorisation des relations, l'expérimentateur affiche les 5 formes géométriques sur l'écran et demande au sujet de répéter pour chaque signal la nature de la relation. Le passage de la phase d'acquisition à la phase de transfert est réalisé sans aucune transition, sans que les sujets de soient informé du changement de régularités.

En résumé, les sujets exécutent 320 essais d'acquisition suivis de 160 essais de transfert. L'expérience comprend deux groupes de sujets, un groupe de sujets qui reçoivent des instructions verbales sur les régularités de la situation et un groupe de sujets qui ne reçoivent aucune instruction sur les régularités.

5.2.6 Traitement des données du mouvement

Une mesure dépendante est présentée, l'erreur spatiale absolue (EA), afin de représenter la précision du mouvement (Spray, 1986). Les moyennes des erreurs spatiales sont calculées pour 32 essais consécutifs. Le nombre d'interception réussies n'est pas retenu car cette variable dépendante n'apporte pas d'informations complémentaires. L'erreur spatiale absolue est calculée pour chaque essais par la valeur absolue de la différence entre la position de la cible et celle de la raquette au passage de la cible sur la ligne d'interception. Un filtrage du signal a été effectué avant le traitement des données. Un filtre digital passe-bas récursif de type Butterworth de second ordre était appliqué une première fois du début à la fin du signal, puis une seconde fois en sens inverse afin de minimiser le déphasage, ce qui en faisait un filtre de quatrième ordre (Murphy & Robertson, 1994).

Néanmoins ce filtrage introduisait une distorsion au début et en fin du signal, et ceci malgré l'emploi de la méthode qui consiste à extrapoler de 20% par réflexion le début et la fin du signal (Smith, 1989). Du fait que pour les essais réussis l'interception stoppe la collection du signal, cette distorsion était particulièrement importante dans la partie finale du signal qui était utilisée pour calculer la variable dépendante. La distorsion due au filtrage s'avérait très gênante, et la solution optimale est apparue de ne pas filtrer les données avant le calcul des erreurs spatiales absolues.

5.3 Résultats

La variable dépendante est l'erreur spatiale absolue, dont la moyenne est calculée par blocs de 32 essais pour chaque sujet. L'analyse de ces moyennes porte séparément sur l'acquisition et le transfert. L'analyse statistique consiste en des analyses de variance (anova), qui comportent un facteur de groupe (acquisition avec instructions et l'acquisition sans instructions), et des mesures répétées qui permettent de mesurer l'influence de la pratique et l'utilisation des signaux visuels.

Lors de l'acquisition, les mesures répétées comprennent d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 10 niveaux) et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais préparés versus Essais non préparés).

Lors du transfert, les mesures répétées comprennent d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 5 niveaux) et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais préparés versus Essais non préparés).

5.3.1 Résultats lors de l'acquisition

L'analyse statistique (anova) comprend un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions versus Découverte), et deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 10 niveaux) et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais préparés versus Essais non préparés).

La Condition de l'Acquisition a un effet significatif sur l'erreur spatiale absolue ($F(1, 22) = 5,556, p < 0,05$), les sujets qui reçoivent des Instructions présentent des interceptions plus précises ($m = 1,49 \text{ cm}, \sigma = 0,89$) que les sujets en condition Découverte ($m = 2,07 \text{ cm}, \sigma = 1,04$). La Pratique a aussi un effet significatif sur l'erreur spatiale ($F(9, 198) = 25,710, p < 0,0001$), et n'interagit pas avec la Condition d'Acquisition ($F < 1$). Comme le montre la figure 5.4, la réduction générale des erreurs spatiales absolues est régulière avec la répétition de la pratique, et de forme analogue pour les deux groupes. Cette figure montre que la diminution des erreurs spatiales pour la Condition Instructions perd de l'importance à partir du bloc 9, et pour la Condition Découverte à partir du bloc 7. Il est à noter qu'une part importante de l'amélioration des performances intervient lors des deux premiers bloc de pratique.

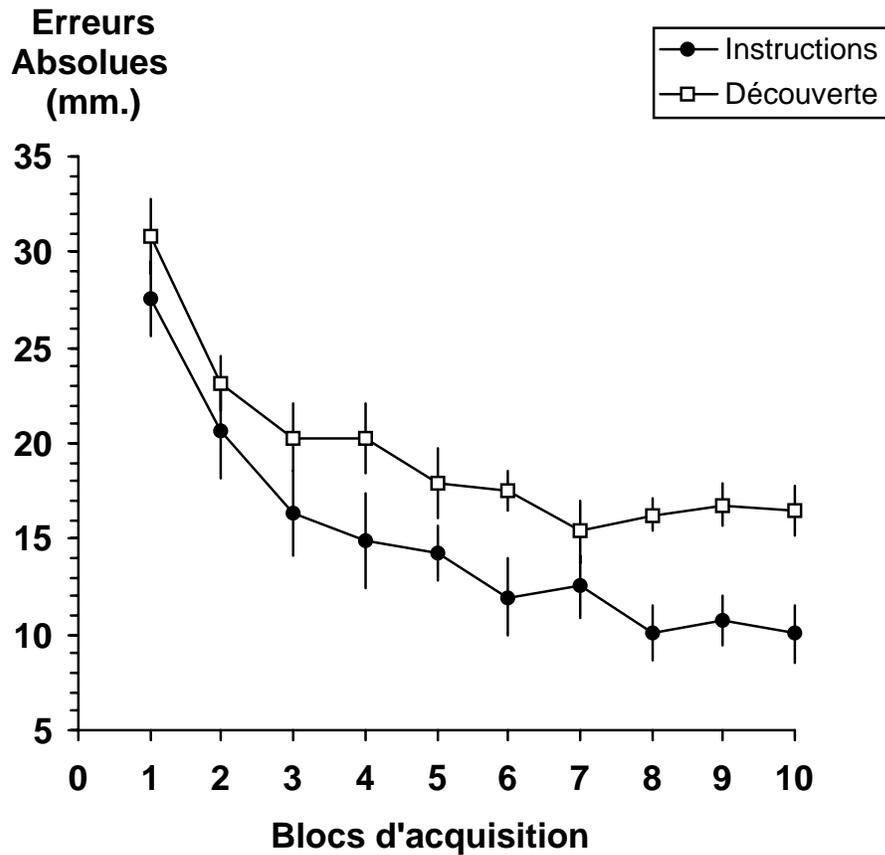


Figure 5.4 : Evolution des erreurs absolues en fonction de la condition d’instruction et en fonction des blocs de pratique dans la phase d’acquisition. Les barres d’erreurs représentent les erreurs types.

La Condition de Préparation a un effet significatif sur l’erreur spatiale ($F(1, 22) = 35,188, p < 0,0001$), et interagit avec la Condition d’Acquisition ($F(1, 22) = 29,83, p < 0,0001$) (voir figure 5.5), mais pas avec la Pratique ($F < 1$).

La figure 5.5 montre que la Condition de Préparation des essais a influencé les sujets en Condition Instructions, permettant des interceptions plus précises quand des indices préparatoires sont affichés. Ce gain de précision s’établit tôt dans l’acquisition (bloc 1 à bloc 3). Cependant, la forme des courbes d’apprentissage sont similaires pour les deux types d’essais. Par contre, les résultats indiquent clairement que les sujets en Condition Découverte n’utilisent pas les indices préparatoires pour exécuter la tâche d’interception.

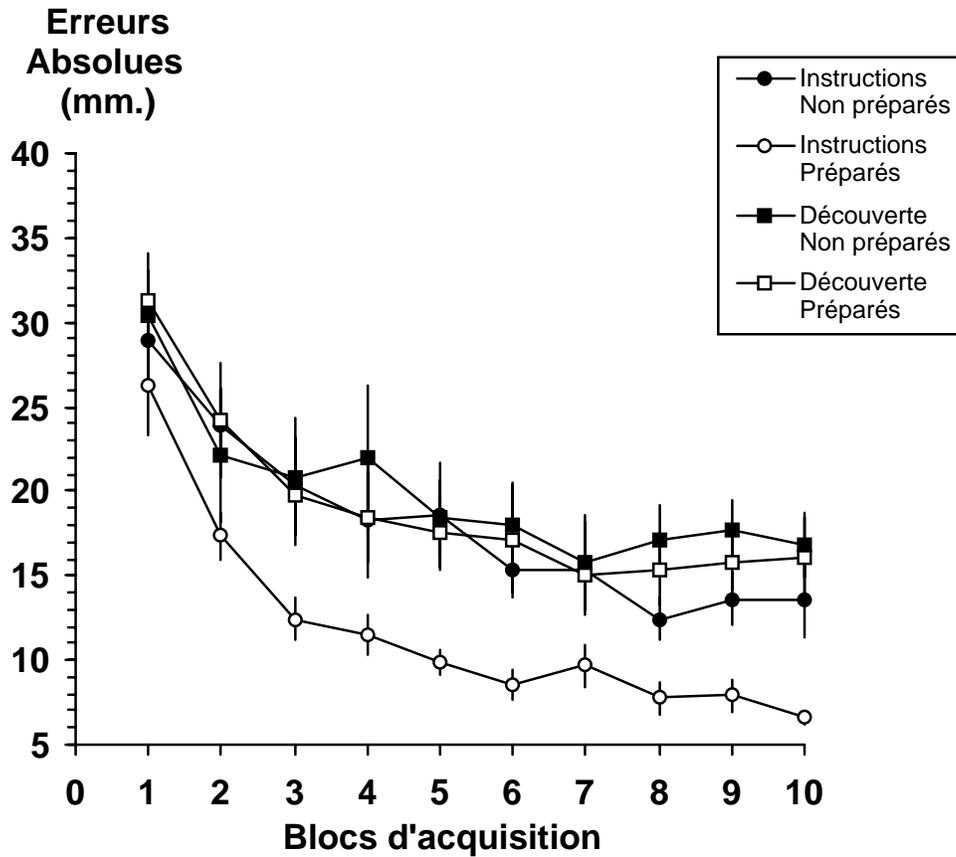


Figure 5.5 : Evolution des erreurs absolues en fonction de la condition d’instruction et selon fonction la condition de préparation des essais, et en fonction des blocs de pratique dans la phase d’acquisition. Les barres d’erreurs représentent les erreurs types.

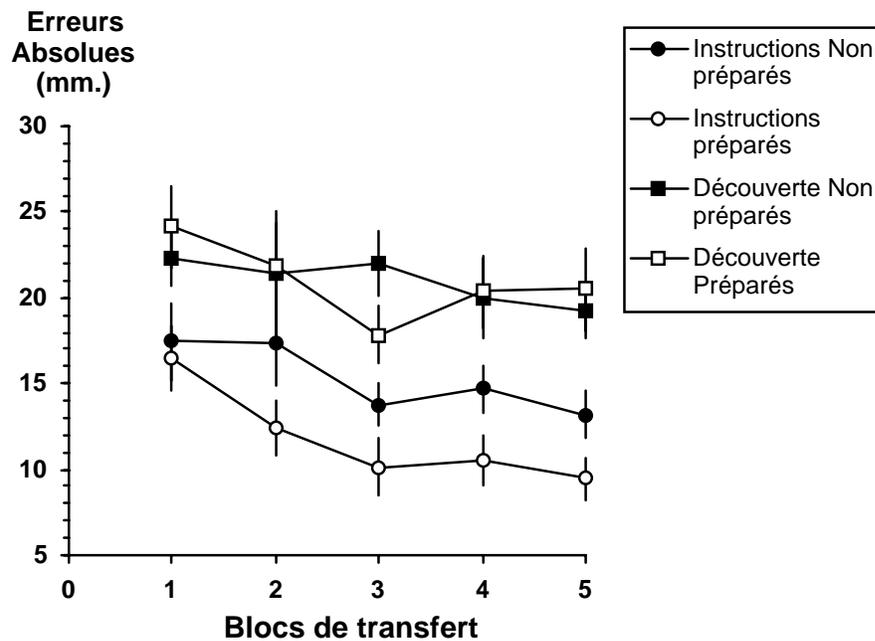
5.3.2 Résultats lors du transfert

L'analyse statistique (anova) comprend un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions versus Découverte), et deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 5 niveaux) et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais préparés versus Essais non préparés).

Le facteur Condition de l'Acquisition a un effet significatif sur l'erreur spatiale ($F(1,22) = 12,31, p < 0,002$), la Condition Instructions se caractérise par des erreurs plus faibles

(moyenne = 1,35 cm, $\sigma = 0,62$) que la Condition Découverte (moyenne = 2,09 cm, $\sigma = 0,78$). La Condition de Préparation a un effet significatif sur l'EA ($F(1,22) = 6,226$, $p < 0,03$), et de plus l'interaction de ce facteur avec la Condition d'Acquisition est significative ($F(1,22) = 5,798$, $p < 0,03$). La Pratique influence de façon significative l'EA ($F(4, 88) = 6,379$, $p < 0,0001$), et ceci sans interagir avec la Condition d'Acquisition ($F < 1$), ni avec la Condition de Préparation ($F(4,88) = 1,525$).

La figure 5.6 illustre le fait que 32 essais d'interception sont nécessaires pour les sujets du groupe Instructions pour s'adapter aux nouvelles régularités. Le transfert n'est pas immédiat et l'adaptation des sujets instruits semble plutôt provenir d'un nouvel apprentissage des régularités effectué en parallèle avec l'exécution de la tâche d'interception plutôt que d'un



transfert analogique.

Figure 5.6 : Evolution des erreurs absolues en fonction de la condition d'instruction et selon fonction la condition de préparation des essais, et en fonction des blocs de pratique dans la phase de transfert. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

5.3.3 Questionnaire d'explicitation

Dans leurs réponses au questionnaire, les sujets en Condition Instructions déclarent avoir utilisé les indices préparatoires pour intercepter les cibles et ne pas avoir changé de stratégie d'exécution de la tâche pendant la pratique (voir tableau 5.2). Par contre, les réponses des sujets en Condition Découverte indiquent que seul 1 sujet sur les 12 sujets en Condition Découverte est capable de rappeler à la fois l'ensemble des indices préparatoires et les directions qui leur sont associées. Ce sujet rapporte s'être rendu compte des relations régulières dans les derniers blocs d'essais (bloc 3 du transfert). Parmi les autres sujets, 2 sujets se souviennent d'un seul ou de deux indices mais sans se souvenir d'une relation entre indices et trajets des cibles.

Les résultats du questionnaire d'explicitation montrent un accord avec les données issues de la mesure de la précision dans la tâche d'interception. On retiendra que 9 sujets non instruits témoignent ne pas se rappeler de la présence des signaux préparatoires, ce qui pourrait indiquer une absence de perception des indices lors de l'acquisition.

Tableau 5.2 : nombre de signaux préparatoires et de relations entre indices et trajet de la cible rappelés par les sujets Découverte lors du questionnaire post pratique. Le nombre de signaux est de 5 et le nombre de relations entre signaux et trajets est de 5.

Sujets	Nombre de signaux visuels rappelés	Nombre de relations signaux-trajets rappelés
S1	0	0
S2	0	0
S3	0	0
S4	0	0
S5	0	0
S6	0	0
S7	5	5
S8	0	0
S9	2	0
S10	0	0
S11	0	0
S12	1	0

5.4 Discussion

Le premier objectif de l'expérience est de montrer que des régularités déterministes peuvent être acquises quand des instructions simples qui décrivent ces régularités sont communiquées, et ceci sans entraîner une dégradation de la précision. Deux groupes sont comparés, un groupe de sujets reçoit des instructions verbales qui décrivent les relations entre les signaux visuels et les trajets des cibles, et un groupe de sujet ne reçoit aucune instruction sur ces régularités. L'hypothèse testée est que les instructions verbales qui décrivent les régularités de la situation facilitent l'acquisition comparativement à une condition d'acquisition par la découverte. Le deuxième objectif est de préciser les effets des instructions verbales sur le transfert de l'acquisition à de nouvelles régularités. Pour étudier cette question, une phase de transfert dans laquelle les relations entre signaux et trajets des cibles sont changées fait suite à l'acquisition. Nous attendons que les instructions permettent de réaliser un transfert des relations plus rapide que dans le cas d'une acquisition par la découverte.

Concernant l'acquisition, les résultats indiquent que la précision spatiale des interceptions augmente avec la pratique pour les deux groupes expérimentaux. Cependant, le fait important est que seuls les sujets qui reçoivent des instructions verbales exhibent une utilisation des signaux visuels qui leur permet d'accroître la précision de leurs actions quand les trajets sont associés à un signal déterministe. Les sujets qui ne reçoivent pas d'instructions n'exhibent aucune sensibilité aux relations entre signaux et trajets.

Relativement à la question du transfert, les résultats indiquent que seuls les sujets qui reçoivent des instructions verbales avant l'acquisition sont sensibles aux relations entre signaux et trajets des cibles dans la phase de transfert. Néanmoins la mise en place de l'utilisation des signaux par les sujets qui reçoivent des instructions demande autant de pratique en transfert que lors de l'acquisition.

Nous allons discuter tout d'abord les enseignements apportés par cette expérience sur les effets des instructions verbales, puis les raisons plausibles de l'échec de l'apprentissage par la découverte.

Cette première expérience montre que la communication des instructions modifie l'acquisition dans la tâche d'interception. La différence entre les 2 conditions expérimentales vis à vis de l'acquisition des régularités n'est pas une différence de degrés, et ceci du fait que les performances des sujets qui ne reçoivent pas d'instructions n'indiquent aucune acquisition des régularités déterministes. La Condition d'Acquisition Découverte ne permet pas dans le cadre des 320 essais d'acquisition et des 160 essais de transfert d'utiliser des contingences entre signaux visuels et trajets des cibles pour améliorer la précision des interceptions. Les instructions verbales s'avèrent donc nécessaires à l'acquisition des relations déterministes dans la tâche d'interception. De plus, l'acquisition des signaux préparatoires au moyen des instructions apparaît rapidement, seulement 32 essais de pratique étant nécessaires à l'observation d'un gain en précision quand un signal déterministe est présent dans la situation. L'intégration dans l'exécution de l'interception du traitement des signaux préparatoires semble donc ne poser aucun problème notable quand des instructions sont communiquées.

En observant plus particulièrement les performances des 2 groupes de sujets pour les essais non préparés, il apparaît que l'acquisition guidée par les instructions ne s'accompagne pas d'une réduction de la précision pour ces essais. Dans cette catégorie d'essais les signaux ne peuvent pas être utilisés pour anticiper l'interception, l'apprentissage s'apparente à un apprentissage non spécifique. L'évolution des performances selon la condition d'acquisition pour ces essais fournit quelques précisions supplémentaires sur les effets des instructions. Ainsi rien n'indique dans les essais non préparés un coût observable au niveau de l'action qui serait induit par la mémorisation et l'utilisation des instructions. Aucun conflit entre l'utilisation d'une représentation externe verbale et l'amélioration non spécifique de l'action d'interception n'est relevé, ce qui affaiblit l'hypothèse d'une indépendance entre ces deux types de processus (McLeod, McLaughlin, Nimmo-Smith, 1985). Il apparaît que le guidage de l'apprentissage des régularités déterministes par une description verbale de ces régularités n'entraîne pas de perturbation de l'acquisition dans la tâche d'interception.

La seconde hypothèse prédit une adaptation plus rapide à de nouvelles relations dans le cas d'une acquisition guidée par des instructions que dans le cas d'un apprentissage par la découverte. Les résultats montrent que la modification des relations entre indices préparatoires et trajets des cibles lors du transfert perturbe la stratégie de préparation des sujets instruits durant les 32 premiers essais du transfert. La mise en place d'une anticipation

sur la base des signaux visuels dans la phase de transfert nécessite autant de pratique que lors de la phase d'acquisition, on ne peut donc pas conclure que les instructions facilitent le transfert en permettant un transfert analogique de la structure des relations. L'utilisation des signaux persiste quand de nouvelles régularités sont introduites et ceci a pu être accompli par un second apprentissage des relations entre signaux et trajets. Du fait de l'absence d'acquisition des régularités déterministes dans la Condition d'Acquisition Découverte, l'hypothèse d'un transfert plus rapide pour les sujets qui reçoivent des instructions verbales ne peut être vérifiée. Il demeure que l'on n'observe pas une perte de précision importante lors du changement des régularités pour les sujets qui reçoivent les instructions.

Dans cette expérience les caractéristiques de la tâche peuvent expliquer la nécessité du recours aux instructions verbales pour l'acquisition des relations entre signaux et trajets. Ce résultat non prédit est intéressant car il représente un cas d'échec d'apprentissage par la découverte. Cependant, la nécessité des instructions verbales relevée dans cette expérience ne peut être généralisée à des apprentissages qui s'étendent sur une durée plus importante que celle de cette expérience.

La description complète des régularités dans les instructions n'est peut être pas nécessaire à l'acquisition des relations entre indices et trajets. La question est alors de préciser les limites d'un échec de l'acquisition par la découverte. On peut faire l'hypothèse que des caractéristiques spécifiques de la tâche ont empêché la découverte des régularités introduites dans la situation. La première hypothèse plausible est que la durée des indices visuels de 100 ms est trop courte pour être perçus, et que cette absence de perception est nécessaire à l'extraction des régularités présentes dans la situation. Deux expériences complémentaires sont réalisées pour tester cette hypothèse.

Chapitre VI

Expérience 2

6.1 Objectifs de l'expérience

Le premier objectif de cette expérience est d'explorer les raisons de l'absence d'acquisition des régularités déterministes observée dans l'expérience 1 pour les sujets non instruits. Une perception des signaux visuels préparatoires affichés semble nécessaire à l'acquisition. Nous faisons l'hypothèse dans cette seconde expérience qu'en augmentant de façon importante la durée d'affichage des indices préparatoires, une acquisition par la découverte des relations entre signaux et trajets doit apparaître. Le second objectif est de préciser l'évolution des performances des sujets relativement aux régularités déterministes quand celles-ci sont modifiées après une pratique de la tâche. Ainsi, la tâche de transfert est reconduite afin de vérifier si l'utilisation des régularités persiste après leur modification et si un transfert est réalisé. De plus, afin de s'assurer que les signaux visuels sont perçus, un questionnaire d'explicitation est présenté oralement aux sujets à l'issue de la tâche de transfert.

6.2 Méthode

6.2.1 Sujets

Sept étudiants volontaires de l'université Paul Sabatier, 1 femme et 6 hommes, âgés de 21 à 24 ans, et possédant une vision normale ou corrigée, participent à l'expérience. Les

conditions requises pour participer sont de ne pas pratiquer des sports de raquette ou des jeux sur micro-ordinateur.

6.2.2 Matériel

Le matériel est identique à celui de l'expérience précédente.

6.2.3 Stimuli

L'interface est identique à celle qui a été utilisée lors de l'expérience 1 à l'exception de la durée d'affichage des indices préparatoires, qui est cette fois de 200 ms. La durée des indices est augmentée en prolongeant l'affichage de 100 ms par rapport à l'expérience 1.

Les relations entre les signaux et les trajectoires sont identiques à celles élaborées dans l'expérience 1. Lors de l'acquisition, 4 formes géométriques sont associées chacune à un des 4 trajets de la cible de façon déterministe. De plus, une cinquième forme géométrique n'est associée à aucun trajet particulier.

6.2.4 Tâches

Les 2 tâches de l'expérience 1 sont reprises en intégralité, soit une tâche d'interception, et un questionnaire d'explicitation (voir figure 6.1).

Pour l'acquisition et le transfert, la tâche consiste à intercepter une cible mobile au moyen d'une raquette virtuelle située sur un axe horizontal, situé dans la partie basse de l'écran. La "raquette" peut être déplacée au moyen d'un stylet sur l'axe horizontal exclusivement. Entre la phase d'acquisition et la phase de transfert les combinaisons entre signaux visuels et trajectoires des cibles sont modifiées.

6.2.5 Protocole expérimental

L'expérience comprend un seul groupe de sujets. Chaque sujet est testé individuellement, dans une pièce calme munie d'un éclairage constant. Aucune instruction verbale sur les relations entre signaux visuels et trajets des cibles n'est communiquée aux participants. Le protocole expérimental est identique en tous points à celui de l'expérience 1. Les sujets exécutent 320 essais en acquisition, puis 160 essais en transfert. Les relations entre signaux et trajets des cibles sont modifiées entre le dernier essai de l'acquisition et le premier

essai de transfert. À la suite de la pratique de la tâche, un questionnaire identique à celui qui a été utilisé pour l'expérience 1 est présenté oralement aux sujets.

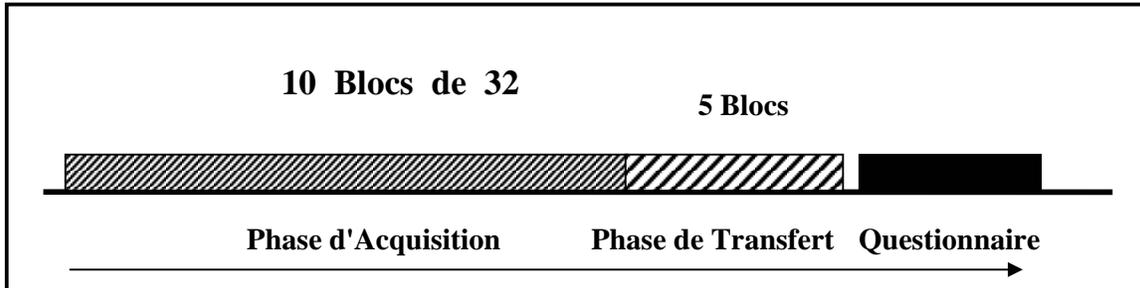


Figure 6.1 : présentation schématique de la procédure expérimentale.

6.3 Résultats

La variable dépendante utilisée pour mesurer les performances des sujets est l'erreur spatiale absolue, mesurée de la même manière que lors de l'expérience 1, et moyennée pour chaque sujet pour 32 essais successifs. Les analyses statistiques qui portent sur ces moyennes sont des analyses de variance. Des mesures répétées sont utilisées pour vérifier l'influence de la pratique sur les performances et l'utilisation des signaux visuels pour intercepter les cibles. Les résultats sont présentés d'abord pour l'acquisition, puis pour le transfert, et enfin pour le questionnaire d'explicitation.

6.3.1 Résultats lors de l'acquisition

L'analyse statistique des résultats (anova) comprend deux facteurs à mesures répétées, d'une part, la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 10 niveaux) et, d'autre part, la Condition de Préparation des essais (Essais Préparés versus Essais Non Préparés).

La Condition de Préparation a un effet significatif sur l'erreur spatiale absolue ($F(1, 6) = 8.678, p < 0,05$), les Essais Préparés se caractérisent par des erreurs d'interception plus

réduites (0,27 cm) que les Essais Non Préparés (0,33 cm). La Pratique influence de façon significative l'erreur spatiale absolue ($F(9, 54) = 3,221, p < 0,004$), sans interagir avec la Condition de Préparation ($F(9, 54) = 1,931, p < 0,07$). Une analyse des contrastes sur les moyennes des conditions de préparation en fonction de blocs de pratique révèle que l'effet de la Condition de Préparation est significatif pour le bloc 6 ($F(1, 6) = 4,295, p < 0,05$). Un ajustement de Huynh-Feldt confirme ce résultat mais pas un ajustement moins conservatif de Greenhouse-Geisser. L'effet de la Condition de Préparation est significatif pour le bloc 7 ($F(1,6) = 12,34, p < 0,0009$, le bloc 8 ($F(1,6) = 7,69, p < 0,008$, et le bloc 10 ($F(1, 6) = 5,762, p < 0,02$). La figure 6.2. illustre la réduction des erreurs avec la répétition de la pratique. On peut noter l'apparition à partir du bloc 6 d'une différence entre les performances pour les Essais Préparés et les Essais Non Préparés.

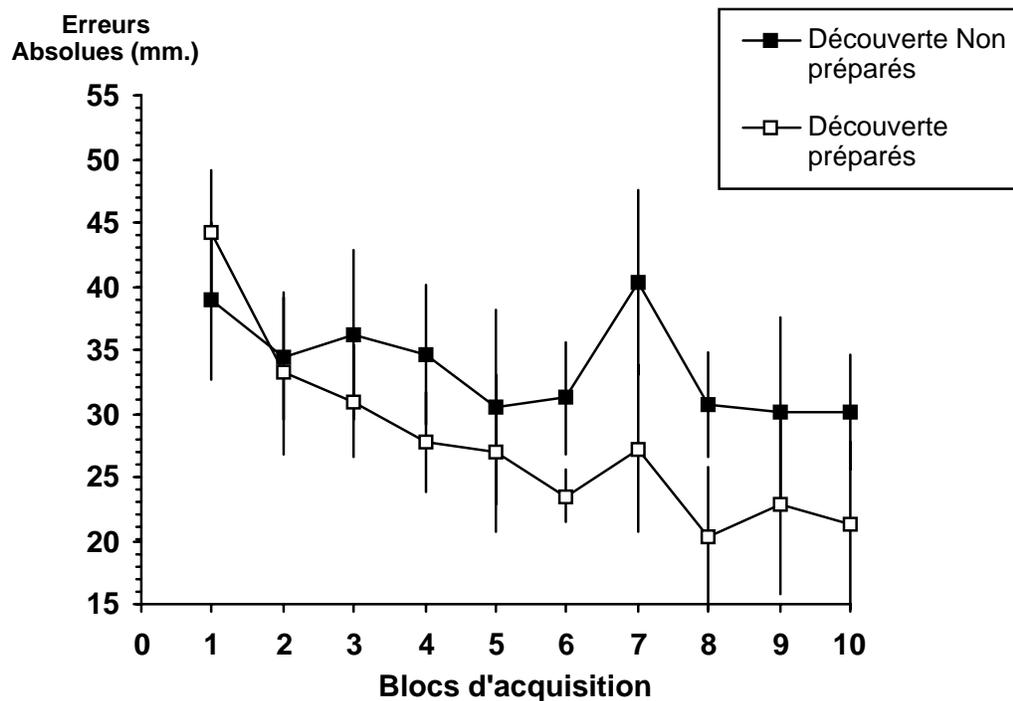


Figure 6.2 : Evolution des erreurs spatiales absolues en fonction de la condition de préparation et en fonction des blocs de pratique dans la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

6.3.2 Résultats lors du transfert

L'analyse statistique des résultats (anova) comprend deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 5 niveaux) et, d'autre part, la Condition de Préparation des essais (Essais Préparés versus Essais Non Préparés).

L'influence de la Condition de Préparation n'est pas significative ($F(1, 6) = 4,42, p < 0,08$). La répétition de la Pratique a un effet significatif sur l'erreur spatiale absolue ($F(4, 24) = 6,552, p < 0,001$), et n'interagit pas avec la Condition de Préparation ($F(1, 24) = 2,466, p < 0,08$). Une analyse des contrastes de la Condition de Préparation en fonction des blocs de Pratique révèle que la Condition de Préparation a un effet significatif pour le bloc 1 ($F(1, 6) = 10,587, p < 0,004$), le bloc 2 ($F(1, 6) = 18,231, p < 0,003$), ainsi que pour le bloc 3 ($F(1, 6) = 32,113, p < 0,001$), et le bloc 5 ($F(1, 6) = 6,4, p < 0,02$). Ces différences entre les deux types d'essais peuvent s'observer sur la figure 6.3. L'absence de signification de l'effet de la Condition de Préparation semble provenir d'un manque de puissance du test de l'anova. Les contrastes constituent des tests qui augmentent la puissance de l'analyse de variance (Abdi, 1987).

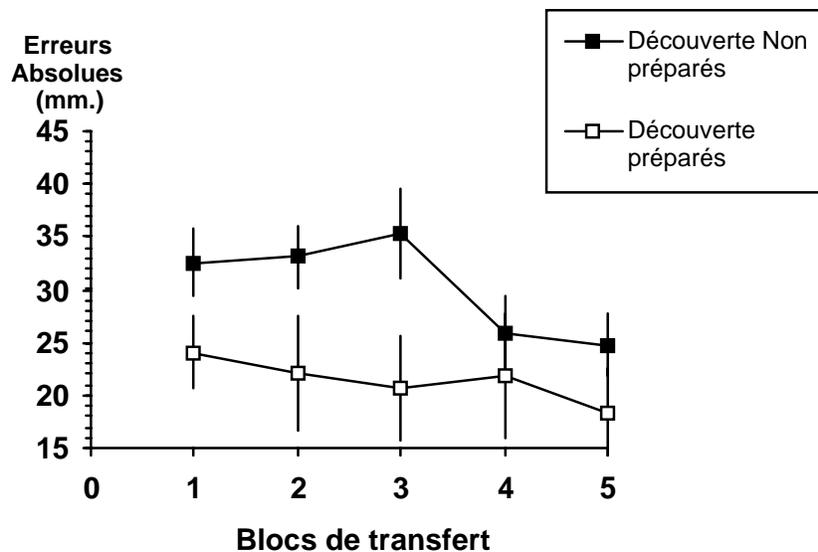


Figure 6.3 : Evolution des erreurs absolues en fonction la condition de préparation des essais, et en fonction des blocs de pratique dans la phase de transfert. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

6.3.3 Questionnaire d'explicitation

Les réponses au questionnaire révèlent que les sujets sont capables de rappeler une partie des indices préparatoires. Des différences entre individus dans le rappel des indices perçus apparaissent ainsi que pour le rappel des relations entre indices visuels et trajets des cibles (voir tableau 6.2). Quatre sujets ne rapportent aucune relation entre indice et trajet, alors que trois sujets rappellent tout ou partie des relations.

Tableau 6.2 : nombre de signaux préparatoires et de relations entre indices et trajet de la cible rappelés lors du questionnaire post pratique. Le nombre total de signaux est de 5 et le nombre total de relations entre signaux et trajets est de 5.

Sujets	Nombre de signaux visuels rappelés	Nombre de relations signaux-trajets rappelées
S1	1	0
S2	2	0
S3	5	3
S4	5	5
S5	5	5
S6	1	0
S7	5	5

Une régression linéaire montre que les différences des moyennes des essais Non Préparés et des Essais Préparés lors du bloc 10 d'acquisition (notées D) sont liées aux scores de rappel ($F(1, 6) = 12,652$, $p < 0,02$), l'équation de la droite étant : $D = 6,648 \times \text{rappel} - 13,838$, $R^2 = 0,717$. Une seconde régression linéaire réalisée cette fois sur les performances du dernier bloc de transfert montre aussi une relation significative avec les scores de rappel ($F(1, 6) = 18,317$, $p < 0,0079$), $R^2 = 0,786$.

6.4 Discussion

L'objectif de cette expérience est de préciser pourquoi lors de l'expérience 1 les sujets en condition d'apprentissage par la découverte n'ont pas utilisé les relations entre les signaux préparatoires et les trajets des cibles. L'hypothèse testée est qu'un facteur perceptif explique

l'absence d'acquisition de ces relations, il est prédit alors que l'introduction de signaux d'une durée d'affichage est plus longue que dans l'expérience 1 permet cette acquisition.

Les résultats obtenus dans cette l'expérience montrent que l'augmentation de la durée des indices préparatoires permet une acquisition des régularités en condition d'acquisition découverte. Lors de la phase de transfert, les résultats indiquent que le gain pour les essais dans lesquels le signal est associé à une trajectoire s'observe dès le premier bloc après la modification des relations entre signaux et trajets. Une analyse des contrastes montre que l'utilisation des signaux est significative dès le premier bloc du transfert. De plus, les réponses au questionnaire d'explicitation sont liées aux performances dans la tâche d'interception et confirment que les sujets perçoivent effectivement les signaux visuels.

L'absence d'acquisition en condition d'acquisition découverte lors de l'expérience 1 pourrait provenir simplement d'une difficulté à percevoir les indices. L'augmentation de la durée des signaux préparatoires dans la deuxième expérience s'accompagne d'une acquisition des régularités en condition d'apprentissage par la découverte.

De plus, de plus il faut souligner que lors du transfert dans l'expérience 1, l'utilisation des signaux préparatoires par les sujets instruits est perturbée pendant le premier bloc d'essais du transfert avant de réapparaître dans les blocs suivants, ce qui n'est pas observé dans l'expérience 2. La sensibilité vis-à-vis des signaux pour les sujets en condition découverte dans cette seconde expérience est observable dès le bloc 1 de la phase de transfert, alors que deux blocs dans la phase d'acquisition sont nécessaires pour observer un effet des régularités.

Enfin, la mesure de l'acquisition des régularités est liée aux réponses au questionnaire post pratique. Cet aspect n'est pas central dans l'optique choisie dans ce travail, mais indique une association entre la performance dans la tâche d'acquisition et le test explicite de mémorisation.

Chapitre VII

Expérience 3

7.1 Objectifs de l'expérience

Nous avons constaté lors de l'expérience 1 que les sujets non instruits par des instructions verbales n'apprennent pas les relations entre signaux et trajets des cibles et nous avons fait l'hypothèse que des facteurs perceptifs sont responsables de cette absence d'acquisition. L'expérience 2 a confirmé cette première hypothèse en montrant que si la durée d'affichage des signaux visuels est augmentée de façon substantielle, les relations entre signaux et trajets sont extraites pendant la pratique de la tâche d'interception. L'augmentation de la durée des signaux peut créer les conditions d'un apprentissage en permettant de percevoir les indices visuels. Le premier objectif de cette expérience est de vérifier que des indices de 100 ms peuvent être utilisés sans instructions verbales si une tâche secondaire rend obligatoire la perception de ces indices. Il est prédit que sans instruction verbale décrivant les relations signaux- trajets, l'exécution d'une tâche secondaire qui engage la perception des signaux permet l'apprentissage des relations déterministes et leur utilisation pour l'interception.

Le second objectif est de préciser l'évolution des performances des sujets relativement aux régularités déterministes quand celles-ci sont modifiées après une pratique de la tâche. Dans ce but une tâche de transfert succède à la tâche d'acquisition. Enfin, dans le but de vérifier si les signaux visuels associés aux trajets des cibles sont perçus, un questionnaire d'explicitation est présenté oralement aux sujets à l'issue de la tâche de transfert.

7.2 Méthode

7.2.1 Sujets

Huit étudiants volontaires de l'université Paul Sabatier, 3 femmes et 5 hommes, âgés de 21 à 26 ans, ayant une vision normale ou corrigée, participent à l'expérience. Les conditions requises pour participer sont de ne pas pratiquer des sports de raquette ou des jeux sur micro-ordinateur.

7.2.2 Matériel

Le matériel est identique à celui utilisé pour les expériences précédentes. L'expérience est contrôlée par un micro-ordinateur Macintosh équipé d'un écran noir et blanc de 21 pouces, et relié à une table à digitaliser. La table à digitaliser utilisée est du type Wacom™. L'interface et la collection des données étaient réalisées à l'aide d'un programme écrit en langage QuickBasic™. Les coordonnées du stylet sur la table sont collectées par le micro-ordinateur avec une fréquence de 60 Hz durant les 1980 ms d'un essai, avec une précision spatiale meilleure que 0,5 mm (de l'ordre d'un pixel, soit 0,35 mm). Les données sont stockées sur le disque du micro-ordinateur sous un format texte pour un traitement ultérieur.

7.2.3 Stimuli

L'interface est identique en tous points à celle de l'expérience 1. Les régularités sont constituées des mêmes relations déterministes entre des formes géométriques et les trajets des cibles que lors des expériences 1 et 2. Les paramètres temporels et spatiaux sont tous identiques à ceux de l'expérience 1, la durée d'affichage des indices est de 100 ms.

Les relations entre les signaux et les trajectoires sont identiques à celles élaborées dans l'expérience 1. Lors de l'acquisition, 4 formes géométriques particulières sont associées chacune à un des 4 trajets de la cible. Les 4 indices préparatoires sont associés aux trajets des cibles de façon déterministe. De plus, une cinquième forme géométrique n'est associée à aucun trajet particulier.

7.2.4 Tâches

Les 2 tâches de l'expérience 1 sont reprises en intégralité, soit la tâche d'interception pour la phase d'acquisition et pour la phase de transfert, et le questionnaire d'explicitation.

7.2.4.1 Tâche d'interception

Dans la tâche d'interception les participants doivent intercepter la cible en déplaçant le stylet sur la tablette graphique sur un axe horizontal, le long d'une barre en bois fixée sur la tablette. La tâche prescrite est d'intercepter la cible le plus précisément possible. Dans cette tâche, des relations déterministes sont introduites entre signaux et trajectoires.

7.2.4.2 Tâche secondaire

La tâche secondaire consiste à rendre obligatoire la perception des signaux visuels préparatoires. Cette tâche secondaire consiste à compter pour chaque série de 16 essais consécutifs le nombre de fois qu'un carré apparaît à la place de la cible dans le deuxième segment de droite du trajet de la cible. Le début et la fin de chaque série sont marqués par l'affichage de la connaissance des résultats sur l'ensemble des blocs accomplis. De plus, le sujet doit communiquer à l'expérimentateur à l'issue de chaque série de 16 essais le nombre de carrés comptés dans la série.

7.2.5 Protocole expérimental

L'expérience comprend un seul groupe de sujets. Les sujets sont testés individuellement. L'expérience est réalisée dans une pièce calme et éclairée de façon constante. Tous les sujets exécutent les tâches sans recevoir d'instruction verbale qui décrit les relations entre signaux et trajets des cibles. A l'exception de l'introduction d'une tâche secondaire, le protocole expérimental est identique en tout point à celui de l'expérience 1. L'addition de cette tâche secondaire ne s'accompagne d'aucune information sur les relations entre indices et trajets, et de ce fait, l'acquisition des relations demeure incidente.

La tâche d'interception et la tâche secondaire sont décrites oralement aux sujets avant la pratique. Les sujets exécutent 320 essais en acquisition, puis 160 essais en transfert. Les relations entre signaux et trajets des cibles sont modifiées entre le dernier essai de l'acquisition et le premier essai de transfert. A la suite de la pratique de la tâche, un questionnaire d'explicitation est présenté oralement aux sujets.

La variable dépendante est identique à celle de l'expérience 1, il s'agit de l'erreur spatiale absolue (EA).

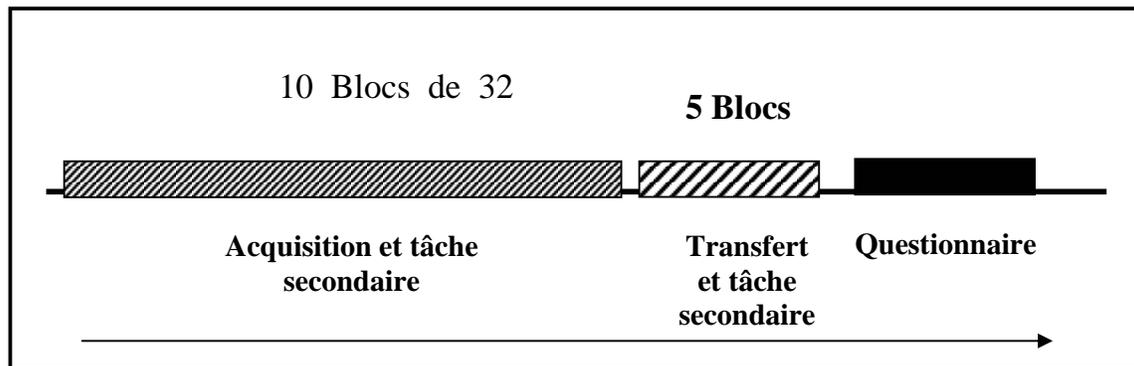


Figure 7.1 : présentation schématique de la procédure expérimentale.

7.3 Résultats

Les erreurs spatiales absolues sont mesurées de la même manière que lors de l'expérience 1, la moyenne de ces erreurs est calculée pour chaque sujet pour 32 essais successifs. Les analyses statistiques portant sur ces moyennes sont des analyses de variance (anova). Tous les sujets sont en condition d'acquisition par la découverte et des mesures répétées sont utilisées pour vérifier l'influence de la pratique sur les performances et l'utilisation des signaux visuels pour intercepter les cibles. Les analyses portent séparément sur l'acquisition et le transfert.

7.3.1 Résultats lors de l'acquisition

L'analyse statistique des résultats (anova) comprend deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 10 niveaux) et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais Préparés versus Essais Non Préparés).

La Condition de Préparation a un effet marginal sur l'erreur absolue ($F(1, 7) = 5,077$, $p < 0,059$). L'influence de la répétition de la Pratique sur l'erreur absolue est significative ($F(9, 63) = 3,447$, $p < 0,002$), les erreurs spatiales absolues se réduisent régulièrement du bloc 1 au bloc 10. L'interaction entre la Condition de Préparation et la Pratique n'est pas significative ($F(9, 63) = 1,38$).

Une analyse des contrastes des moyennes des Essais préparés et des Essais Non Préparés met en évidence un effet de la Condition de Préparation pour le bloc 4 ($F(1, 8) = 6,36$, $p < 0,02$), le bloc 5 ($F(1, 8) = 8,619$, $p < 0,005$), ainsi que le bloc 6 ($F(1, 8) = 5,114$, $p < 0,03$), mais ce résultat n'est pas confirmé après les ajustements de Huynh-Feldt et de Greenhouse-Geisser dont l'utilisation est requise suite à une violation de l'hypothèse de sphéricité de la covariance (Abdi, 1987). Les contrastes révèlent aussi un effet significatif pour le bloc 7 ($F(1, 8) = 11,273$, $p < 0,002$), et le bloc 8 ($F(1, 8) = 8,571$, $p < 0,004$), le bloc 9 ($F(1, 8) = 5,987$, $p < 0,02$), et, enfin, le bloc 10 ($F(1, 8) = 5,771$, $p < 0,02$).

La figure 7.2 met en évidence une réduction des erreurs plus importante pour les Essais Préparés que pour les Essais Non Préparés à partir du bloc 4. Cette observation semble indiquer le temps nécessaire pour la mise en place d'une utilisation des indices.

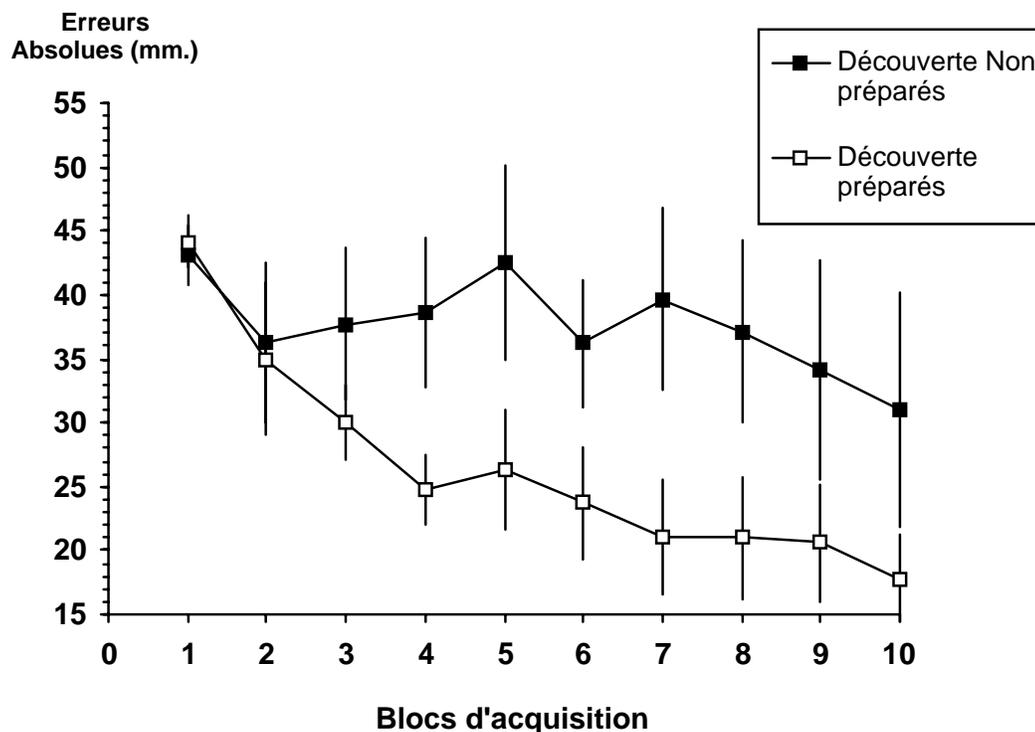


Figure 7.2 : Evolution des erreurs absolues en fonction de la condition de préparation des essais et en fonction des blocs de pratique dans la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

Une analyse supplémentaire sur l'acquisition est réalisée en incluant les données des sujets en condition découverte de l'expérience 1 et les données de cette expérience. L'analyse est une analyse de variance et comprend un facteur de groupe Tâche secondaire (acquisition avec une tâche secondaire vs. acquisition sans tâche secondaire) et les 2 facteurs à mesures répétées, déjà utilisés (Condition de Préparation et Pratique). Cette analyse révèle un effet significatif de la préparation ($F(1, 18) = 8,233, p < 0,05$) et surtout un effet significatif de l'interaction Tâche secondaire x Condition de Préparation ($F(1, 18) = 6,037, p < 0,05$). Ce résultat montre une sensibilité des performances uniquement dans le cas de l'exécution de la tâche secondaire, la différence entre moyennes des erreurs pour les essais non préparés et les essais préparés étant de 1,12 cm avec l'exécution de la Tâche secondaire et de 0,08 cm sans exécution de la Tâche secondaire.

7.3.2 Résultats lors du transfert

L'analyse statistique des résultats (anova) comprend deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 5 niveaux), et d'autre part, la Condition de Préparation des essais (Essais préparés versus Essais non préparés).

La Condition de Préparation a un effet significatif sur l'EA ($F(1, 7) = 18,185, p < 0,004$). L'influence de la Pratique n'est pas significative ($F < 1$). Une analyse des contrastes des moyennes des Essais préparés et des Essais Non Préparés met en évidence un effet significatif de la Condition de Préparation dès le premier bloc du transfert et pour tous les blocs suivant du transfert. La figure 7.3 montre l'apparition rapide du transfert de la structure des relations aux nouvelles relations introduites.

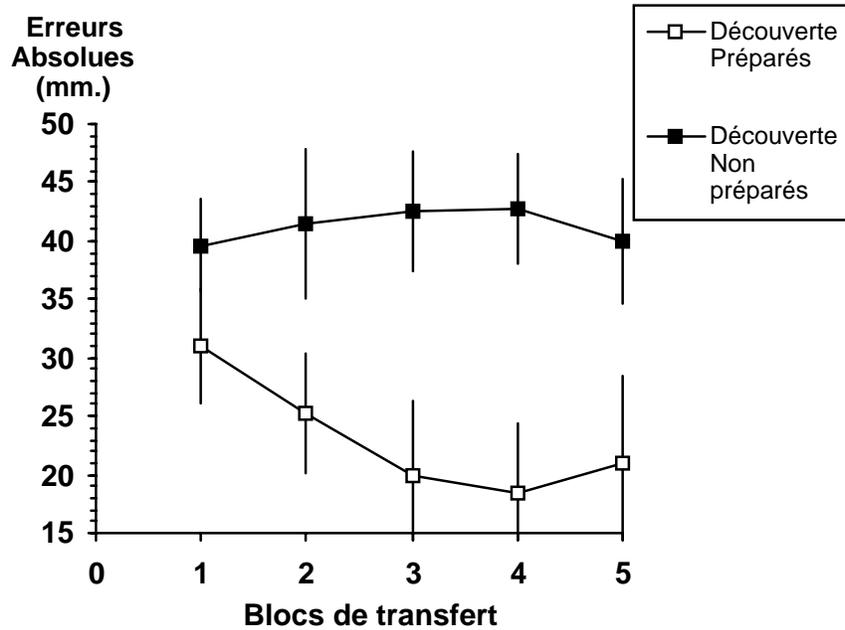


Figure 7.3 : Evolution des erreurs absolues en fonction la condition de préparation des essais, et en fonction des blocs de pratique dans la phase de transfert. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

7.3.3 Questionnaire d'explicitation

Les réponses au questionnaire indiquent que tous les sujets se souviennent des indices préparatoires (tableau 7.1). Il faut de plus souligner qu'un seul sujet sur les huit participants ne rappelle pas les relations entre indices et trajets.

Tableau 7.1 : nombre de signaux préparatoires et de relations entre indices et trajet de la cible rappelés lors du questionnaire post pratique pour l'expérience 3. Le nombre total de signaux est de 5 et le nombre total de relations entre signaux et trajets est de 5.

Sujets	Nombre de signaux visuels rappelés	Nombre de relations signaux-trajets rappelés
S1	5	5
S2	5	5
S3	5	5
S4	5	5
S5	5	0
S6	5	3
S7	5	5

S8	5	5
----	---	---

7.4 Discussion

L'objectif de cette expérience est principalement de vérifier que la perception des signaux visuels de 100 ms pour l'exécution d'une tâche secondaire permet l'acquisition des régularités déterministes présentes dans la situation. De plus, une tâche de transfert est introduite à l'issue de l'acquisition afin de vérifier si l'utilisation des relations entre signaux et indices persiste après leur modification dans une condition d'acquisition sans instruction verbale.

Les résultats indiquent que les relations déterministes sont utilisées lors de l'acquisition. De plus le gain en termes de précision de l'interception est observable dès le premier bloc dans la tâche de transfert, ce qui indique un transfert de l'acquisition. Enfin, les réponses au questionnaire d'explicitation montrent que les sujets sont capables de rappeler l'ensemble des signaux. Il apparaît donc que la tâche secondaire permet la perception de tous les signaux visuels.

Les signaux visuels lors de cette expérience sont affichés pendant 100 ms, soit la même durée que lors de l'expérience 1, une tâche secondaire qui impose la perception de ces signaux permet la mise en relation des signaux et des trajets des cibles pour améliorer la précision des interceptions. De plus, le transfert de l'acquisition des régularités à l'issue de l'acquisition s'établit de façon rapide après la modification des régularités. L'utilisation des signaux dans le transfert apparaît plus rapidement que lors de l'acquisition, ce contraste entre les deux tâches montre que lors du transfert un second apprentissage des régularités n'est pas réalisé mais plutôt un transfert analogique de la structure des régularités déterministes. Enfin, les réponses au questionnaire d'explicitation montrent que cette acquisition est verbalisée sans difficulté par les participants à l'expérience.

7.5 Conclusion générale des expériences 1, 2 et 3

L'objectif de l'expérience 1 réside dans l'étude des effets des instructions qui décrivent la situation sur l'acquisition de régularités déterministes comparativement à une condition d'apprentissage par la découverte. Des relations déterministes entre des signaux visuels et les trajets des cibles sont introduites dans la situation lors de l'acquisition, puis ces relations sont modifiées dans une tâche de transfert qui fait suite à l'acquisition. Il est prédit que les instructions facilitent l'acquisition et le transfert des régularités déterministes comparativement à une condition d'apprentissage par la découverte.

L'expérience 1 met en évidence que des instructions qui décrivent des régularités déterministes permettent une acquisition rapide de ces régularités. L'utilisation des instructions par les apprentis ne semble pas entrer en conflit avec l'exécution de l'action d'interception, action qui requiert un couplage fin entre perception et mouvement. Il apparaît en effet qu'à l'aide des instructions les régularités sont intégrées très rapidement dans l'exécution de l'interception. Par contre, quand aucune instruction verbale sur les relations entre indices visuels et trajets des cibles n'est communiquée, les sujets n'apprennent pas à utiliser ces régularités. Cette absence d'acquisition des régularités en condition découverte révèle le rôle important que des instructions verbales peuvent avoir dans l'apprentissage. Signalons que ce rôle n'était pas attendu dans cette tâche. La littérature rapporte fréquemment que la prescription du but de la tâche suffit à l'acquisition, ce type d'apprentissage était prédit dans la tâche d'interception étudiée. Or il apparaît que l'extraction des relations entre signaux visuels et trajets des cibles et l'intégration de ces régularités dans l'exécution de la tâche n'est pas réalisée. Sans instructions verbales, seul un apprentissage non spécifique s'établit, dans la limite de la durée de la pratique demandée de cette expérience, soit 320 essais suivis de 160 essais de transfert.

Afin d'explorer les causes de cette absence d'acquisition pour les sujets qui ne reçoivent pas d'instructions, deux expériences complémentaires sont réalisées. L'hypothèse testée est que l'absence d'acquisition des régularités provient d'une absence de perception des signaux par les sujets sans instructions. Cette absence de perception des signaux dans l'expérience 1 ne permet pas la mise en relation d'un signal avec un trajet de la cible en parallèle avec la perception du déplacement de la cible, nécessaire pour contrôler le mouvement d'interception. Pour modifier cet aspect de la perception dans la tâche, deux manipulations sont effectuées : l'augmentation de la durée des indices dans l'expérience 2, et la prescription d'une tâche secondaire imposant la perception des signaux dans l'expérience 3. Chacune de ces deux manipulations conduisent à une acquisition des relations signaux-

trajets, sans que des instructions soient communiquées. De plus, un transfert de cette acquisition est observé dans l'expérience 2.

Lors des expériences 2 et 3 les régularités déterministes sont acquises et cette acquisition permet une utilisation rapide des régularités après la modification de celles-ci dans la tâche de transfert. L'ensemble des trois expériences permet de mettre l'accent sur le fait que les instructions verbales peuvent apporter une aide à l'apprentissage en orientant l'attention vers les événements pertinents de la situation qui composent les régularités utiles. L'orientation spontanée de l'attention dans la tâche d'interception ne permet pas dans tous les cas de faire l'extraction du type de régularités introduites dans ces expériences. Ces régularités se caractérisent par le fait que la perception des événements qui les composent n'est pas nécessaire et obligatoire pour intercepter les cibles. De plus, les instructions permettent une acquisition rapide des relations signaux-trajets, qui indique que dans le cadre des contraintes imposées par la tâche d'interception simulée une description verbale de la structure de la situation peut être aisément utilisée pour mettre en place une réponse qui tire un bénéfice de cette structure régulière. L'utilisation d'une représentation externe qui décrit verbalement la situation n'interfère pas avec les contraintes spatio-temporelles de la tâche d'interception.

Chapitre VIII

Expérience 4

8.1 Objectifs de l'expérience

L'objectif de cette expérience est d'approfondir l'étude des effets des instructions verbales sur l'apprentissage de régularités probabilistes.

Les études sur la prise de décision dans un environnement probabiliste, employant les tâches de temps de réaction de choix, ont mis en avant l'existence d'un bénéfice mais aussi d'un coût à la préparation de la réponse sur la base d'événements probabilistes. En effet, dans les environnements probabilistes, la préparation de la réponse privilégie les événements les plus valides et donc il existe un coût à l'anticipation pour les événements faiblement valides. Une erreur de préparation dans une situation de temps de réaction de choix se traduit par une perte de temps provoquée par le désengagement d'une réponse, et la mise en œuvre une autre réponse (Logan, 1985 ; Posner, Nissen, & Ogden, 1978, cité par Schmidt & Lee, 1999 ; Schmidt & Gordon, 1977, cité par Schmidt & Lee, 1999).

Dans le cadre de l'étude de l'apprentissage, plusieurs travaux convergent pour indiquer que l'acquisition de régularités probabilistes se caractérise par un rapport bénéfice / coût provoqué par la préparation sélective à des événements. Schvaneveldt & Gomez (1998) observaient que l'acquisition de séquences de pointages, comportant des transitions probables ($p = 0,8$) et peu probables ($p = 0,2$) entre unités de la séquence, se caractérisait par des erreurs d'anticipations pour les transitions peu probables. Ainsi, l'apprentissage des régularités probabilistes peut être mesuré par la sensibilité des réponses aux différences de probabilité

des événements, ce qui permet notamment de distinguer un apprentissage spécifique des régularités séquentielles et un apprentissage non spécifique des exécutions individuelles des réponses. Un aspect important de cette étude était que ce pattern d'échange entre gain et coût des prédictions apparaissait après seulement 50 essais de pratique, alors que d'autres types de régularités probabilistes sont acquises après une quantité de pratique prolongée (Cleeremans & Jiménez, 1998 ; Jiménez & Méndez, 1999).

Il ressortait d'une autre étude, menée par Carlson & Flowers (1996, expérience 3), que l'adoption d'une stratégie de prédiction à travers l'acquisition de régularités probabilistes entraînait un échange entre gain et coût pour les performances (Carlson & Flowers, 1996). Dans l'expérience 3 de cette dernière étude, un premier stimulus visuel précédait de 750 ms un second stimulus visuel, qui devait être identifié le plus vite possible par les sujets, les associations entre les deux stimuli étaient neutres, probables ou peu probables. L'adoption d'un comportement prédictif sur la base des régularités probabilistes s'accompagnait de temps de réaction plus courts pour les essais probables et plus longs pour les essais peu probables. De plus, cette étude mettait en évidence que ces régularités pouvaient être apprises avec ou sans instruction verbale décrivant la structure de ces régularités. L'effet notable des instructions verbales qui décrivaient ces régularités était d'accroître le nombre d'erreurs pour les essais peu probables. Enfin, dans une tâche d'interception qui comportait des régularités probabilistes, la communication d'instructions qui décrivaient ces régularités dégradait la précision de l'ensemble des performances en comparaison d'une condition d'acquisition par la découverte (Green & Flowers, 1991). Pour interpréter leurs résultats, Green & Flowers (1991) proposaient que la mémorisation et l'application des instructions produisaient une surcharge des capacités de traitement cognitif de l'apprenti, du fait de la complexité des régularités probabilistes et des contraintes spatio-temporelles imposées par l'interception. Ces résultats étaient assimilés aux effets des instructions qui incitaient à la recherche de règles dans l'apprentissage de grammaires artificielles (Reber, 1976 ; Reber, 1989 ; Reber *et al.*, 1980). Dans le cas des grammaires artificielles, la structure complexe des régularités seraient responsables de l'échec de la recherche explicite des régularités (Reber, 1989). Mais une analyse de la littérature sur l'apprentissage implicite nous a conduit à proposer que les effets des instructions spécifiques sur l'acquisition de régularités dans des paradigmes de l'apprentissage implicite ne sont pas assimilables aux effets des instructions de recherche de règle. En effet, l'acquisition sans instruction dans les paradigmes de l'apprentissage implicite constitue une acquisition de régularités partielles et non pas l'acquisition de la structure tacite des régularités présentes dans la situation (Dienes, Broadbent, & Berry, 1991 ; Dulany *et al.*

1984 ; Mathews *et al.*, 1989 ; Perruchet, 1994 ; Perruchet, Gallego, & Pacteau, 1992 ; Perruchet & Pacteau, 1990 ; Reber & Lewis, 1977 ; Servan-Schreiber & Anderson, 1990).

Il semblerait, pour les ratios utilisés tant par Green & Flowers (1991) que par Carlson & Flowers (1996) ou Schvaneveldt & Gomez (1998), que l'adaptation mise en place de façon autonome se caractérise par un compromis entre comportements prédictifs sur la base de la structure probabiliste et comportements non prédictifs. Ainsi, on peut faire l'hypothèse que les instructions verbales constituent une contrainte qui favorise l'adoption rapide des comportements prédictifs.

Dans cette nouvelle expérience, la comparaison des performances pour les essais fortement probables ($p = 0,75$) et peu probables ($p = 0,25$) permet de mesurer l'importance des comportements prédictifs. Afin de préciser la nature des exécutions mises en place quand des instructions verbales sont communiquées et sans instructions verbales, une analyse portera sur les profils de vitesse des mouvements d'interception lors des derniers essais d'acquisition. On devrait identifier des mouvements prédictifs et des mouvements réactifs à partir du nombre de pics de vitesse présents dans un essai. Le décompte du nombre de pics de vitesse est relevé par une analyse interactive des graphiques des profils de vitesse individuels (Kharraz-Tavazol, Eggert, Mai, & Straube, 2000). Un mouvement réactif devrait se caractériser par un pic unique de vitesse, la pression temporelle ne permettant pas de multiples ajustements pendant l'accomplissement du mouvement (Brenner, Smeets, & de Lussanet, 1998 ; van Donkelaar & Lee, 1994). Il semble, sur la base des données recueillies dans les expériences précédentes de cette thèse, qu'une analyse des dernières 700 ms d'un essai suffit à décrire le mouvement avant et après le point qui marque la transition entre la partie initiale invariable et la partie variable finale des trajets.

De la même manière que lors de l'expérience 1, les relations entre les indices préparatoires et les trajets des cibles sont modifiées après 320 essais de pratique. Cette modification dans les régularités consiste exclusivement à l'introduction de nouvelles combinaisons entre les indices et les trajets. Le nombre de trajets associés à chaque indice et les probabilités d'apparition de chaque association sont conservés.

Cette modification des relations signaux- trajets est utilisée de deux manières distinctes. Premièrement la transition entre le dernier bloc de la phase d'acquisition et le premier bloc d'essais du transfert est utilisé pour mesurer la perturbation immédiate causée par un changement brusque des relations signaux-trajets et de mesurer l'apprentissage des régularités probabilistes. Deuxièmement, l'analyse des 160 essais de transfert permet de

vérifier les effets à plus longs termes de la modification des relations signaux- trajets et donc d'étudier le transfert.

Les signaux visuels sont affichés pendant 200 ms, durée permettant une acquisition sans instructions des régularités déterministes (expérience 2). Afin de s'assurer que ces signaux sont perçus par les sujets sans instructions verbales, une tâche de reconnaissance des signaux fait suite à la phase de pratique de la tâche. Cette tâche de reconnaissance est utilisée car elle est présentée à plusieurs reprises dans la littérature comme une mesure plus sensible que le questionnaire d'explicitation (Perruchet & Amorim, 1992 ; Shanks & St John, 1994).

La première hypothèse testée est que des instructions verbales induisent l'utilisation des régularités probabilistes plus rapidement dans le processus d'apprentissage que les sujets en condition Découverte. La deuxième hypothèse est que les instructions facilitent la réalisation d'un transfert comparativement à une condition d'acquisition sans instructions.

8.2 Méthode

8.2.1 Sujets

Vingt quatre étudiants volontaires de l'université Paul Sabatier, 5 femmes et 19 hommes, âgés de 21 à 26 ans, possédant une vision normale ou corrigée, participent à l'expérience. Les conditions requises pour participer sont de ne pas pratiquer de sports de raquette ou des jeux sur micro-ordinateurs ou consoles de jeu électronique.

8.2.2 Matériel

L'expérience est contrôlée par un micro- ordinateur Macintosh équipé d'un écran noir et blanc de 21 pouces, et relié à une table à digitaliser. La table à digitaliser qui est utilisée est du type Wacom™. L'interface et la collection des données sont réalisées à l'aide d'un programme écrit en langage QuickBasic™. Les coordonnées du stylet sur la table sont collectées par le micro-ordinateur avec une fréquence de 60 Hz durant les 1980 ms d'un essai, avec une précision spatiale meilleure que 0,5 mm (de l'ordre d'un pixel, soit 0,35 mm). Les données sont stockées sur le disque du micro- ordinateur sous un format texte pour un traitement ultérieur.

8.2.3 Stimuli

L'interface élaborée pour l'expérience 2 est réutilisée pour cette expérience, les signaux préparatoires sont affichés pendant une durée de 200 ms. Les quatre indices valides de l'expérience 1 sont réutilisés ainsi que les quatre trajets des cibles.

La fenêtre de l'interface élaborée pour l'expérience mesure 27,5 cm de haut et 38 cm de large. Cette interface est composée d'une raquette virtuelle représentée par un rectangle (largeur de 1 cm) ainsi que d'une cible représentée par un cercle (diamètre de 0,56 cm), d'une ligne horizontale qui matérialise l'axe sur lequel l'interception doit avoir lieu, et enfin de 5 indices préparatoires (largeur et hauteur de à 0,56 cm).

Le point de départ des trajets est situé en haut de l'écran et au centre suivant l'axe horizontal. Les trajets sont composés de 3 segments de droite. La hauteur totale des trajets est de 21,5 cm. La première partie des trajets, composée par deux segments de droite est invariable entre les essais, les indices préparatoires sont affichés pendant ce trajet initial. A la suite de la partie invariable des trajets, la cible peut prendre une direction parmi quatre possibles (loin à gauche, près à gauche, loin à droite, près à droite). Ces directions déterminent l'amplitude du déplacement de la raquette virtuelle requise pour toucher la cible, 9,6 cm ou 7,7 cm à gauche ou à droite, mesurée depuis la position de départ située au centre de l'écran.

Tableau 8.1 : paramètres métriques et temporels des trajets des cibles. La durée totale des trajets est de 1980 ms.

Segments	Longueur du segment	Durée du segment
Premier	18,2 cm	660 ms
Second	17,7 cm	820 ms
Troisième court	12,5 cm	500 ms
Troisième long	15,3 cm	500 ms

Les formes géométriques, identiques à celles des expériences 1, 2 et 3, sont affichées à la place de la cible pendant le second segment du trajet et se déplacent à la vitesse de la cible de manière à ne pas introduire une rupture de la poursuite de la cible. Le signal neutre n'est plus utilisé. Pendant cet affichage la cible disparaît durant 200 ms et un des 4 indices apparaît à sa place.

8.2.4 Tâches

Les sujets exécutent une tâche d'interception de cible, suivie d'une tâche de reconnaissance, et enfin d'un questionnaire d'explicitation.

8.2.4.1 Tâche d'interception

La tâche d'interception de l'expérience 1 est reprise pour cette expérience. Les sujets doivent exécuter une tâche d'interception de cible dans un environnement probabiliste. A chaque essai, une cible se déplaçant sur l'écran doit être interceptée au moyen d'une raquette virtuelle positionnée sur un axe horizontal, situé dans la partie basse de l'écran. La tâche prescrite est d'intercepter la cible le plus précisément possible. La raquette peut être déplacée au moyen d'un stylet sur l'axe horizontal exclusivement.

8.2.4.2 Tâche de reconnaissance

La tâche explicite insérée après la pratique consiste à présenter sur l'écran du micro-ordinateur 32 trajets de cibles dont le dernier segment est masqué. Les sujets doivent annoncer à l'expérimentateur si l'indice affiché dans le second segment était présent dans la phase d'acquisition, et à quel trajet de la cible particulier cet indice était associé. La nature des régularités n'est pas révélée aux sujets lors de la tâche de reconnaissance. Par contre, on indique au sujet que seulement 4 trajets sont possibles.

8.2.4.3 Tâche du questionnaire d'explicitation

Lors de la présentation du questionnaire les sujets doivent répondre oralement à la série de questions suivante : « décrivez la manière dont vous exécutiez la tâche » ; « Avez-vous remarqué des régularités particulières dans la situation ? » ; « Avez vous remarqué des formes géométriques affichées pendant le trajet de la cible ? » ; « Pouvez vous rappeler quelles étaient ces formes géométriques ? » ; « Avez vous utilisé ces indices visuels pour intercepter les cibles ? » ; « Pouvez vous rappeler les relations entre indices visuels et trajectoires des cibles ? »

8.2.5 Protocole expérimental

Les participants à l'expérience sont testés individuellement, dans une pièce calme et munie d'un éclairage constant. Deux groupes de 12 sujets sont utilisés dans cette expérience. La moitié des sujets reçoit les instructions qui décrivent les régularités probabilistes avant de commencer la pratique de la tâche. L'autre moitié des sujets ne reçoit aucune instruction sur les régularités probabilistes. La tâche prescrite avant la phase d'acquisition est d'intercepter la cible, de plus aucune information n'est donnée au sujet relativement au passage entre acquisition et transfert. Les sujets exécutent 320 essais d'acquisition, suivis de 160 essais de transfert, puis de la tâche de reconnaissance, et, enfin, du questionnaire d'explicitation.

Les instructions communiquées avant la pratique de la tâche sont lues par l'expérimentateur à chaque sujet. L'expérimentateur lit toujours deux fois les instructions avant de demander au sujet de les répéter. Une troisième lecture est effectuée si nécessaire. Pour s'assurer de la mémorisation des relations, l'expérimentateur affiche les 5 formes géométriques sur l'écran et demande au sujet de répéter pour chaque signal la nature de la relation.

Les instructions originales utilisées dans l'expérience :

Après le premier changement de direction de la cible, la cible disparaît et une figure géométrique apparaît pendant un court instant. Cette figure prédit la direction finale de la cible. Je vais décrire les relations entre les quatre formes géométriques et les trajets des cibles, vous devez les mémoriser afin d'être capable de les répéter intégralement et sans erreurs. Je décrirai une deuxième fois ces relations. Les direction des cibles sont définies par rapport au centre de l'écran. Quand un carré apparaît, la direction est loin à gauche dans 75 % des cas et près à droite dans 25 % des cas. Quand deux triangles qui se touchent par le sommet apparaissent, la direction est loin à droite dans 75 % des cas et près à gauche dans 25 % des cas. Quand un triangle apparaît, la direction est près à droite dans 75 % des cas et loin à gauche dans 25 % des cas. Quand deux carrés accolés sont affichés, la direction est près à gauche dans 75 % des cas et loin à droite dans 25 % des cas.

Dans la phase d'acquisition, les probabilités des relations entre signaux et trajets des cibles sont calculées pour 16 essais consécutifs afin d'obtenir dans chaque suite de 16 essais pour chaque indice une relation ayant une probabilité d'apparition de 0,75 (3 événements sur 16) et une seconde relation ayant une probabilité d'apparition de 0,25 (1 événement sur 16). De cette manière la détermination des probabilités repose sur le nombre d'apparitions de chaque relation entre indice et trajet dans une série de 16 essais. Autrement dit, ces régularités associent à chacun des quatre trajets de cible deux indices distincts, un indice avec une probabilité de 0,75 et avec un second indice avec une probabilité de 0,25. Le détail de ces relations probabilistes est présenté dans le tableau 8.2. Une fois défini le nombre d'apparition de chaque de relations dans une série de 16 essais, les positions dans la série de 16 essais des 16 relations sont mélangées de façon pseudo- aléatoire. Trois séries distinctes par l'ordre des positions sont construites selon les règles définies ci- dessus et sont utilisées de façon équilibrée entre les groupes expérimentaux.

Tableau 8.2 : détails des relations entre les indices visuels préparatoires et les trajets des cibles. Les valeurs des probabilités sont définies par le nombre d'apparition de chaque relation pour 16 essais successifs. Une valeur de probabilité de 0,75 consiste à 3 apparitions et une valeur de 0,25 consiste à 1 apparition.

Formes affichées	Trajet associé avec une probabilité de 0,75	Trajet associé avec une probabilité de 0,25
Carré	Loin à gauche	Près à droite
Triangle	Près à droite	Loin à gauche
Deux carrés	Près à gauche	Loin à droite
Deux triangles	Loin à droite	Près à gauche

Lors de la phase de transfert, le calcul des probabilités est réalisé de la même manière que pour l'acquisition, mais 2 trajets différents de ceux de l'acquisition sont associés à chaque signal.

8.2.6 Traitement des données du mouvement

Deux variables dépendantes sont recueillies pendant l'acquisition, les erreurs spatiales absolues au passage de la balle sur la ligne d'interception et le nombre de pics de vitesse pour

les 11 derniers essais comportant une relation de probabilité 0,75. La variable dépendante mesurée lors du transfert est l'erreur spatiale absolue.

De la même manière que lors des expériences 1, 2 et 3, les données sur la position du stylet sur l'axe des x ne sont pas filtrées avant le calcul des erreurs absolues. Par contre pour l'analyse des profils de vitesse, les données sur la position sont filtrées. Avant le calcul des vitesses par un algorithme de différence centrale sur 3 points, les données sur la position sont filtrées avec une fréquence de coupure de 6 Hz, à l'aide des deux filtres et des traitements décrits dans l'expérience 1. Le filtre utilisé est un filtre digital passe-bas récursif de type Butterworth de second ordre, qui est appliqué une première fois du début à la fin du signal, puis une seconde fois en sens inverse afin de minimiser le déphasage, ce qui produit un filtre de quatrième ordre (Murphy & Robertson, 1994). La détermination de la fréquence de coupure d'un filtre Butterworth est délicate (Challis, 1999 ; Yu, Gabriel, Noble, 1999) et détermine fortement la validité des dérivées premières et secondes du signal. Une analyse harmonique du signal brut est parfois utilisée pour déterminer une fréquence de coupure optimum, mais cette méthode ne permet pas toujours d'obtenir une corrélation entre les dérivées secondes du signal brut et du signal bruité filtré (Yu, Gabriel, Noble, 1999). Une autre méthode non objective est appliquée afin d'adapter la méthode de traitement au protocole utilisé et à la variable dépendante utilisée. Les dérivées premières et seconde du signal brut et du signal filtré sont calculées par différenciation numérique à l'aide d'un algorithme de première différence centrale sur 3 points. Par approximations successives, en superposant graphiquement les dérivées premières et secondes du signal brut du signal filtré pour un échantillon de fréquences de coupures (3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10), il est apparu qu'une fréquence de coupure de 6 Hz rend compte des dates et valeurs des pics de la première dérivée de la position en fonction du temps (vitesse).

La fréquence de coupure de 6 Hz est choisie comme le meilleur compromis par une analyse graphique des résidus entre données filtrées et données brutes pour les dérivées premières et secondes en fonction du temps. De plus, la méthode d'extrapolation de 20% par réflexion du début et de la fin du signal est utilisée afin de minimiser la déformation finale du signal créée par le filtrage (Smith, 1989).

En résumé, 2 groupes de sujets sont comparés dans l'exécution d'une tâche d'acquisition, suivie d'une tâche de transfert. A l'issue de la tâche de transfert les sujets exécutent une tâche de reconnaissance, puis répondent à un questionnaire d'explicitation.

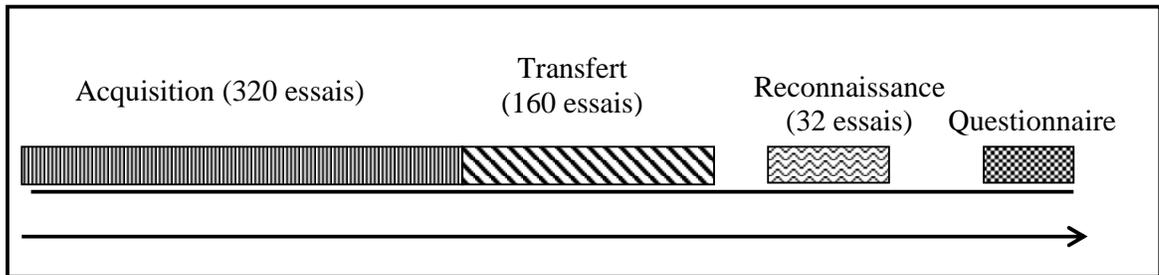


Figure 8.1 : Présentation schématique du déroulement de l'expérience.

Deux mesures dépendantes sont prises en compte pendant l'acquisition : les erreurs spatiales absolues, moyennées pour chaque bloc de 16 essais et le nombre de pic de vitesse lors des 16 derniers essais. Une mesure dépendante est prise pendant la transition entre acquisition et transfert et pendant le transfert : l'erreur spatiale absolue, moyennée pour des blocs de 32 essais. Lors de la tâche de reconnaissance le nombre de signaux reconnus était relevé.

8.3 Résultats

Les premières analyses portent sur l'erreur spatiale absolue (EA), dont la moyenne pour chaque sujet est calculée pour des blocs de 32 essais consécutifs. Le traitement de ces données consistent en des analyses de variance (anova) qui comprennent un facteur groupe (Instructions versus Découverte) et deux mesures répétées : la Pratique et la Condition de Probabilité des essais (0,75 vs. 0,25). Ces analyses portent séparément sur l'acquisition lors des 320 premiers essais (10 Blocs de Pratique), sur la transition entre acquisition et transfert (3 blocs de Pratique : le bloc 10 d'acquisition et le bloc 1 de transfert), et sur le transfert lors des 160 derniers essais (5 blocs de Pratique).

Une autre analyse est réalisée sur le nombre de pics de vitesse présents dans les profils de vitesse pour les 11 derniers essais comportant une relation signal- trajets de probabilité 0,75.

La présentation des résultats porte premièrement sur les analyses de variance des erreurs spatiales absolues, puis sur le nombre de pics de vitesse.

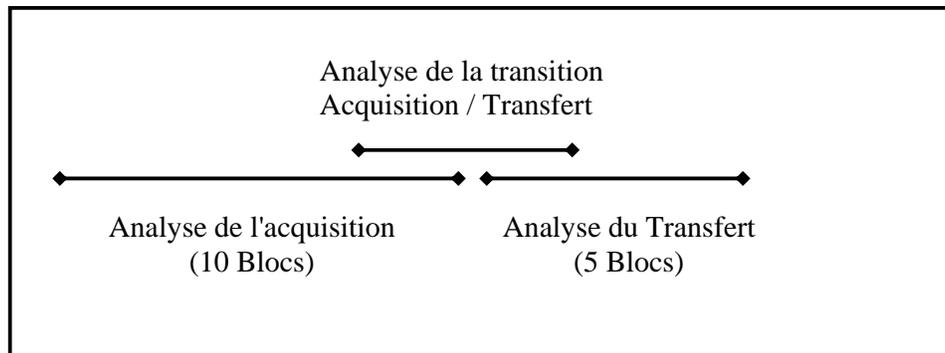


Figure 8.3 : Schéma des analyses statistiques séparées pour l'acquisition, la transition entre acquisition et transfert, et le transfert, réalisées sur les moyennes des erreurs spatiales absolues calculées pour 32 essais.

8.3.1 Résultats de l'analyse des erreurs spatiales

8.3.1.1 Résultats dans l'acquisition

L'analyse statistique (anova) comprend un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions versus Découverte), et deux facteurs à mesures répétées, d'une part, la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, avec 10 niveaux) et, d'autre part, la Condition de Préparation des Essais (0,75 vs. 0,25).

L'influence du facteur Condition d'Acquisition n'est pas significative ($F(1, 22) = 2,892$). La Condition de Probabilité a un effet significatif sur l'erreur spatiale ($F(1, 22) = 20,548$, $p < 0,0002$), et interagit de façon significative avec la Condition d'Acquisition ($F(1, 22) = 13,884$, $p < 0,002$). Ainsi la différence entre les sujets instruits et les sujets non instruits est faible pour les essais 0,75, mais elle est importante pour les essais 0,25.

Comme le montre la Figure 8.4, les performances des sujets qui reçoivent des instructions se révèlent très sensibles aux valeurs de probabilités des régularités, alors que les performances des sujets en Condition d'Acquisition par la Découverte ne manifestent aucune sensibilité aux régularités probabilistes.

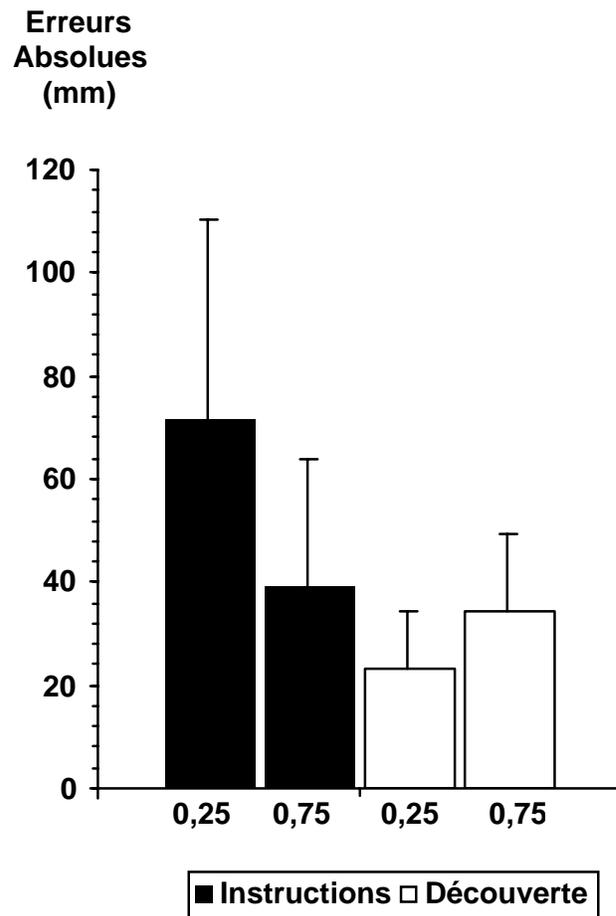


Figure 8.4 : moyennes des erreurs spatiales absolues en fonction de la condition d'acquisition et de la probabilité des essais pour la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les écarts types.

L'analyse de variance fait apparaître un effet significatif de la répétition de la Pratique ($F(9, 198) = 3,824, p < 0,0002$). On peut observer une diminution des valeurs des erreurs spatiales d'interception depuis le bloc 1 jusqu'au bloc 7, puis une stabilisation de ces valeurs entre le bloc 8 et 10 (Figure 8.5). L'interaction significative de la Condition d'Acquisition et de la Condition de Probabilité montre clairement que les instructions modifient de façon sensible l'adaptation aux régularités probabilistes en regard d'un apprentissage par la découverte. Il apparaît que les sujets qui reçoivent des instructions manifestent des erreurs plus réduites lors des essais 0,75 que lors des essais 0,25, alors que les performances des sujets en condition découverte n'indiquent pas un usage des indices préparatoires. De plus, une analyse séparée de variance sur les erreurs absolues du groupe Découverte ne révèle pas d'effet significatif du facteur Condition de Probabilité ($F(1,11) = 1,264, p < 0,28$).

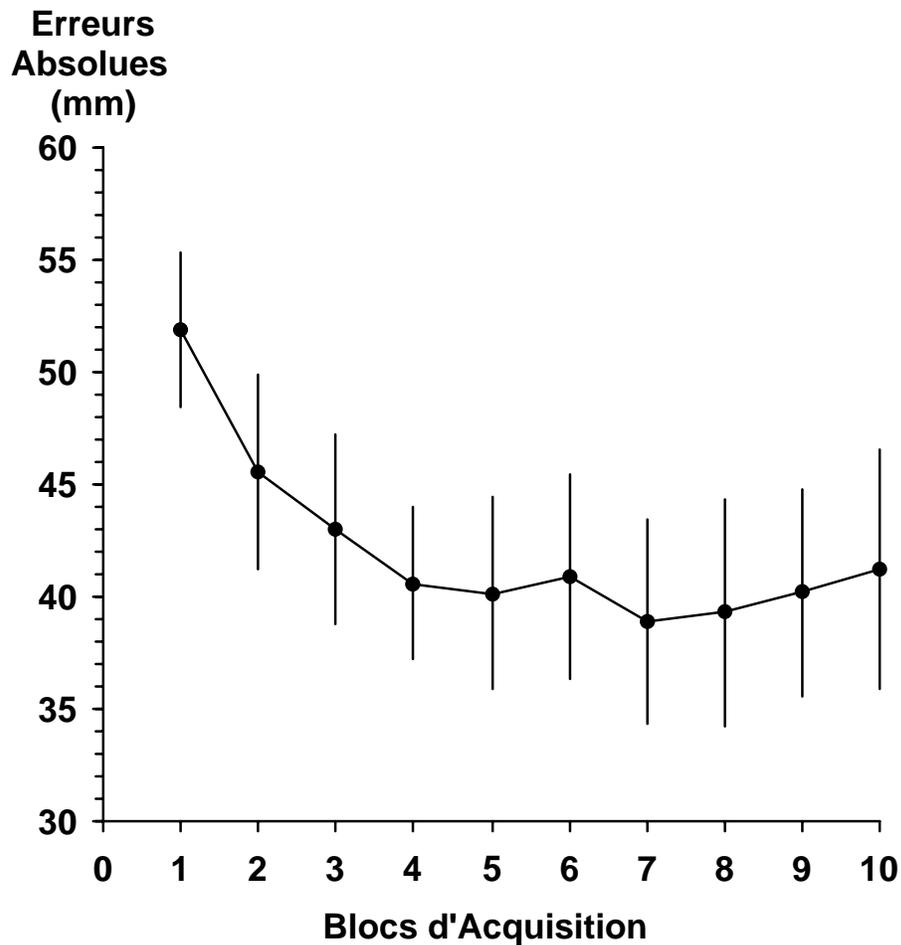


Figure 8.5 : Evolution des erreurs spatiales absolues en fonction des blocs de pratique lors de l'acquisition.

Afin de recueillir des renseignements supplémentaires sur les effets des instructions, les différences entre les moyennes des erreurs absolues des Essais 0,25 et des Essais 0,75 sont calculées pour chaque sujet et pour chaque bloc de l'acquisition. Ces courbes sont présentées dans les figures 8.7 et 8.8. L'inspection de la figures 8.7 révèle qu'un sujet (S12) dans la Condition d'Acquisition par la Découverte s'est comporté face à la présence de régularités d'une façon très différente des autres sujets de ce groupe.

La courbe du sujet S12 indique un changement brusque de comportement entre le bloc 6 et le bloc 7. L'augmentation très forte et soudaine des différences entre les erreurs des Essais Peu Probables et des Essais Probables indique la découverte des régularités probabilistes et l'adoption d'une stratégie de prédiction des trajets sur la base des indices préparatoires, similaire à celle présente massivement dans la Condition d'Acquisition Instructions. En reconduisant a posteriori l'analyse de variance en retirant le sujet S12 de l'analyse, l'influence de la Condition d'Acquisition atteint le seuil de signification, ($F(1,21) = 6,065$, $p < 0,0225$). Il faut noter que l'interaction entre la Condition d'Acquisition, la Condition de Préparation, et la Pratique est significative mais que les ajustements de Greenhouse-Geisser et de Huynh-Feldt ne confirment pas la consistance de ce résultat (Abdi, 1987). Aucun autre résultat de l'analyse n'est modifié.

Une intervention a posteriori sur les résultats d'une expérience requiert une prudence particulière. La validité de l'opération réalisée a posteriori repose sur le constat que le sujet isolé se comporte de façon très différente des autres sujets du groupe, pour appuyer cette position il faut préciser que l'exclusion de l'analyse de chacun des autres 11 sujets du groupe Découverte n'entraîne pas de modification des résultats de l'analyse statistique.

Cette analyse des résultats montre que l'adaptation aux régularités probabilistes pouvait prendre deux formes distinctes, l'usage ou le non usage des indices préparatoires pour intercepter les cibles. Il apparaît que les instructions verbales déterminent de façon massive l'adoption d'une stratégie de prédiction des trajectoires qui s'accompagne d'un échange entre gain de précision pour les Essais Probables et perte de précision pour les Essais Peu

Probables. La Condition d'Acquisition ne semble pas avoir d'incidence sur l'amélioration de la précision des interceptions avec la pratique, bien que cette amélioration s'effectue selon 2 manières qualitativement distinctes.

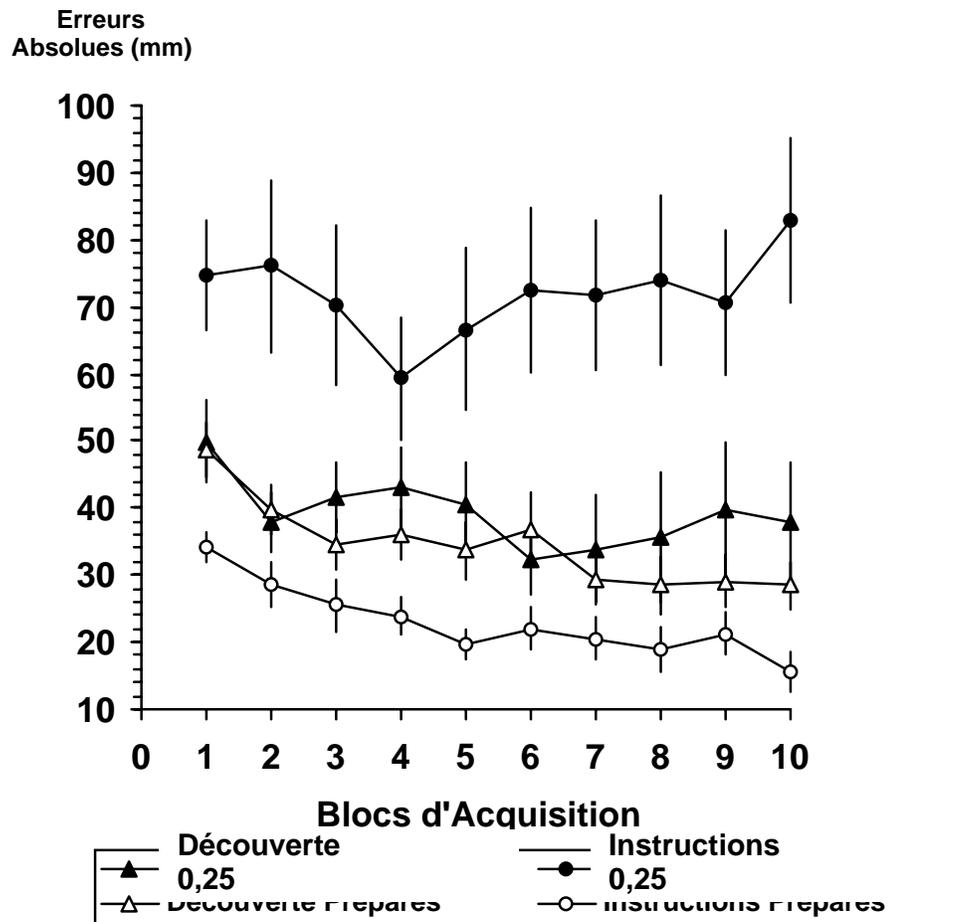


Figure 8.6 : Evolution des erreurs absolues en fonction la condition de préparation des essais, et en fonction des blocs de pratique dans la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

La figure 8.7 montrent que l'échange entre gain et perte de précision est réduit voir nul pour quatre sujets du groupe Instructions (S3 ; S5 ; S7 ; S8), les courbes représentant la sensibilité aux régularités probabilistes oscillent autour de la valeur zéro.

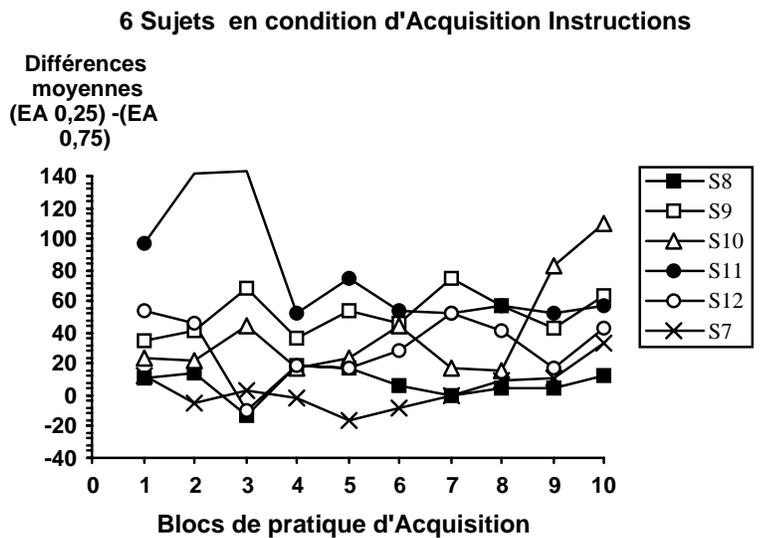
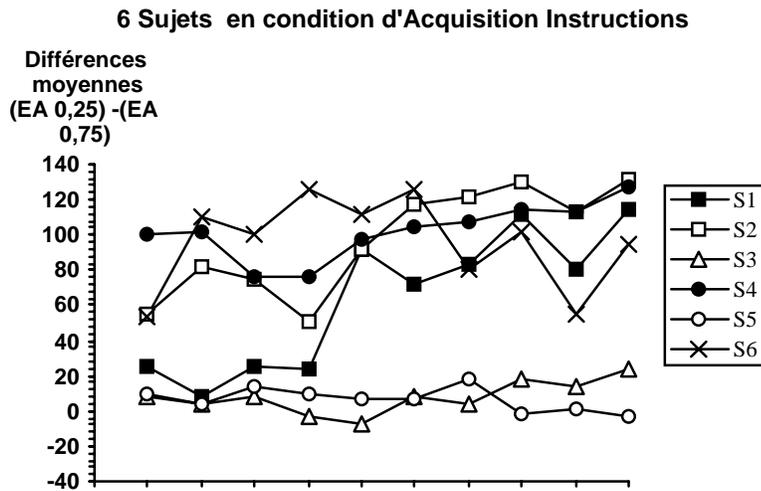
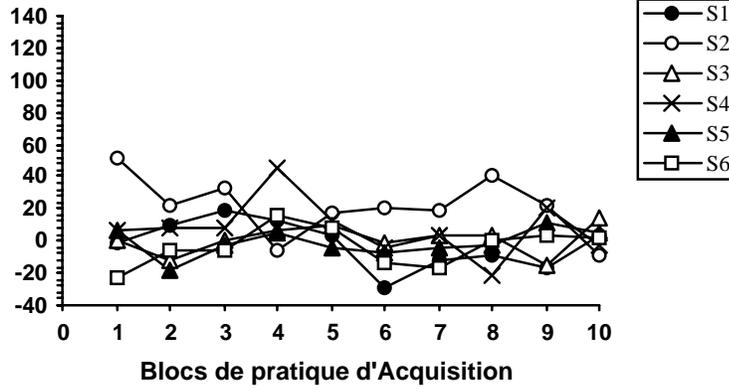


Figure 8.7 : Evolution des différences entre les erreurs spatiales absolues des essais 0,75 et les erreurs spatiales absolues des essais 0,25 en fonction des blocs de pratique de l'acquisition pour les sujets instruits.

En ce qui concerne la Condition d'Acquisition Découverte, les courbes individuelles représentant la sensibilité aux régularités probabilistes oscillent autour de la valeur zéro pour 11 sujets, par contre la courbe d'un sujet (S12) s'élève brusquement et très fortement après 192 essais de pratique.

6 Sujets en condition d'Acquisition Découverte

Différences
des moyennes
(EA 0,25)-(EA
0,75)



6 Sujets en condition d'Acquisition Découverte

Différences
des moyennes
(EA 0,25)-(EA
0,75)

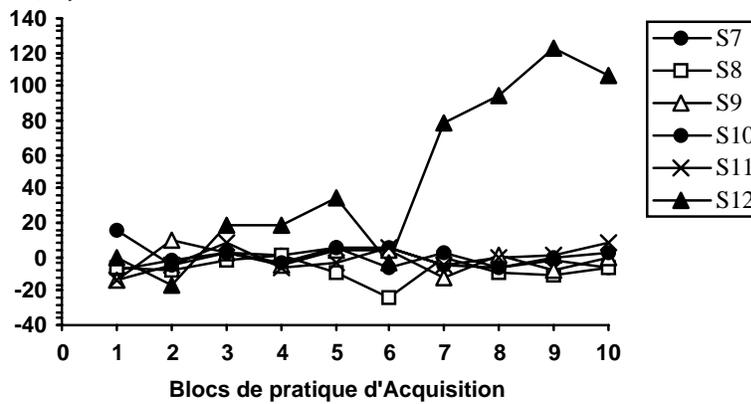


Figure 8.8 : Evolution des différences entre les erreurs spatiales absolues des essais 0,25 et les erreurs spatiales absolues des essais 0,75 en fonction des blocs de pratique de l'acquisition pour les sujets instruits.

8.3.1.2 Transition entre acquisition et transfert

L'analyse statistique des résultats (anova) comprend le facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions versus Découverte) et deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Modification des régularités (bloc 10, bloc 1 du transfert), et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais Probables versus Essais Peu Probables).

L'analyse indique tout d'abord une absence de signification de la Condition d'Acquisition ($F(1,22) = 3.394$). Par contre, la Condition de Préparation des Essais a un effet significatif sur l'erreur spatiale absolue ($F(1, 22) = 14,212, p < 0,002$), et interagit avec la Condition d'Acquisition ($F(1, 22) = 6,590, p < 0,02$). L'effet de la transition a un effet significatif ($F(2, 44) = 3,363, p < 0,05$). Cette interaction indique que la différence Essais 0,75 Essais 0,25 était plus importante dans la condition Instructions que dans la condition Découverte. Ce résultat confirme celui observé lors de la phase d'acquisition. Il apparaît de plus que l'interaction entre la Condition de Préparation et la Transition est significative ($F(1, 22) = 29,204, p < 0,0001$). Enfin, l'interaction des trois facteurs Condition de Préparation, Transition, et Condition d'Acquisition est significative ($F(1, 22) = 20,502, p < 0,0002$).

L'interaction des trois facteurs Condition de Préparation, Transition, et Condition d'Acquisition, peut être interprétée à l'aide de la Figure 8.9, qui représente les courbes des différences des moyennes des erreurs spatiales absolues pour les Essais 0,25 et pour les Essais 0,75 pour les sujets Instructions et pour les sujets Découverte. On peut voir sur le graphe A que la transition entre les régularités de l'Acquisition et les régularités du Transfert modifient fortement l'effet des probabilités des essais sur les performances des sujets instruits. Précisément cette modification consiste en une très forte diminution des valeurs des différences entre les moyennes d'erreurs absolues des deux Conditions de Préparation des Essais, les courbes se rapprochant de la valeur zéro lors du premier bloc de transfert. On peut aussi constater que deux sujets de ce groupe (S3 et S8) ne sont pas sensibles à la modification des régularités. En ce qui concerne les sujets Découverte, le graphe B met en évidence qu'à l'exception du S12 les performances des sujets sont très stables pendant la transition.

En résumé l'analyse statistique de la transition entre acquisition et transfert met en évidence l'absence d'utilisation des indices préparatoires dans la Condition d'Acquisition Découverte. La stratégie d'exécution des interceptions est fortement déterminée par la communication des instructions, qui induisent une utilisation des indices pour prédire les

trajets des cibles. En condition d'Acquisition Découverte par contre, la répétition de la pratique n'entraîne pas une utilisation des indices préparatoires.

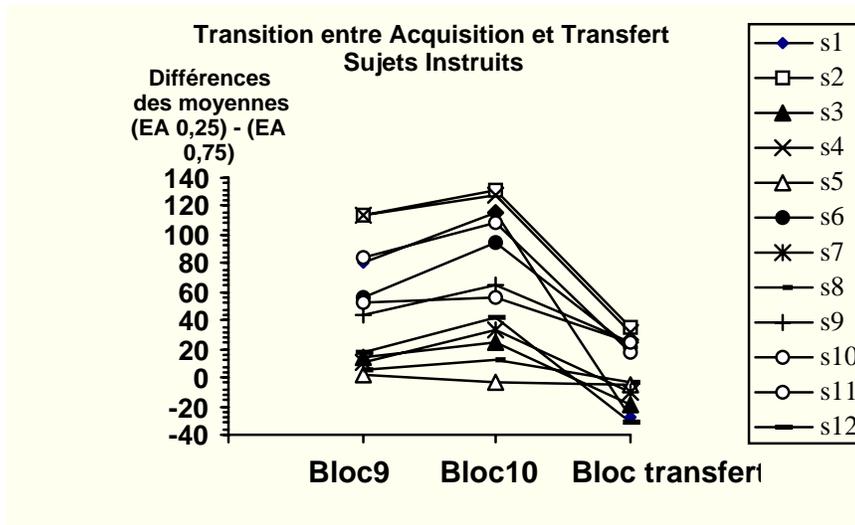
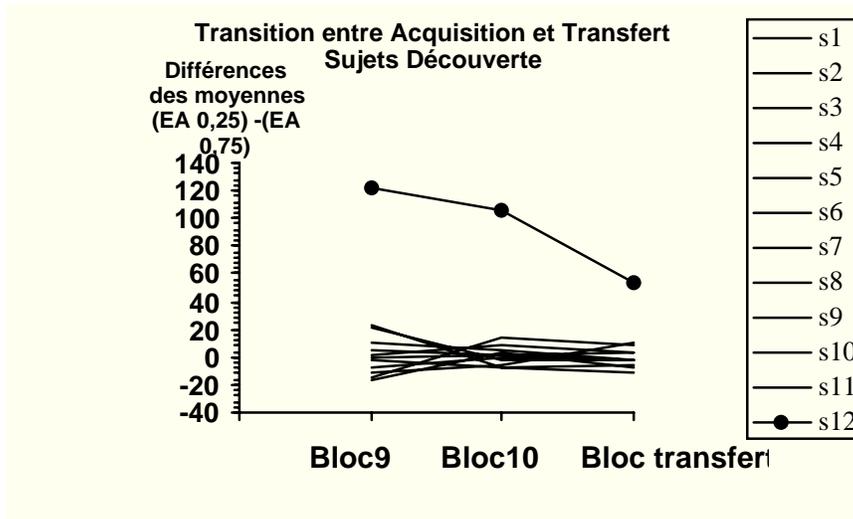


Figure 8.9 : Evolution des différences entre les erreurs spatiales absolues des essais 0,75 et les



erreurs spatiales absolues des essais 0,25 pendant la transition entre derniers blocs d'acquisition et le premier bloc de transfert pour les sujets instruits et pour les sujets découverte.

8.3.1.3 Résultats lors du transfert

L'analyse statistique des résultats (anova) comprend le facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions versus Découverte) et deux facteurs à mesures répétées, d'une part

la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, 5 niveaux) et d'autre part la Condition de Préparation des essais (Essais 0,75 versus Essais 0,25).

L'influence de la Condition d'Acquisition n'est pas significative ($F(1, 22) = 2,001, p < 0,171$). L'analyse révèle que la Condition de Préparation des essais a un effet significatif sur l'erreur spatiale absolue ($F(1,22) = 9,914, p < 0,005$). Les erreurs spatiales sont plus importantes pour les Essais 0,25 (moyennes = 4,96 cm, écart type = 36,77) que pour les Essais 0,75 (moyennes = 2,73 cm, écart type = 18,54). De plus la Condition de Préparation des essais interagit significativement avec la Condition d'Acquisition ($F(1, 22) = 6,743, p < 0,02$). Ce dernier résultat indique que la différence de stratégie d'exécution de la tâche adoptée lors de l'acquisition est aussi présente de façon significative dans les blocs du transfert. La Figure 8.10 met en relief que la précision des interceptions dans la Condition Découverte ne diffèrent pas selon la Condition de Préparation des Essais, alors que le pattern d'échange entre gain et perte de précision est toujours présent pour les sujets qui ont reçu des instructions. La répétition de la Pratique dans le transfert n'a pas un effet significatif sur l'erreur spatiale absolue ($F < 1$). L'analyse de variance montre par contre que l'interaction entre la Condition de Préparation et la répétition de la Pratique atteint le seuil de signification ($F(4, 88) = 6,238, p < 0,0002$). La sensibilité des performances des sujets instruits aux valeurs des probabilités est réduite au niveau du bloc 1 du transfert, puis dès le bloc 2 l'écart entre les deux Conditions de Préparation devient plus importante et demeure stable dans les bloc suivants. De plus, l'interaction des trois facteurs condition de préparation, condition d'acquisition et pratique est significative ($F(4, 88) = 6,435, p < 0,0001$). La Figure 8.10 permet de constater que cette interaction de trois facteurs provient d'une modification de la sensibilité aux régularités entre les bloc 1 et 2 pour la Condition Instructions mais pas pour la Condition Découverte. Une analyse des contrastes selon la Condition de Préparation des Essais des moyennes des erreurs spatiales du groupe de sujets instruits montre que ce facteur est significatif pour les blocs 2, 3, 4 et 5, mais pas pour le bloc 1.

Les résultats obtenus lors de la situation de transfert indiquent clairement que la stratégie adoptée par les sujets qui reçoivent des instructions est déstabilisée pendant un bloc de pratique de la tâche, soit 32 essais. Cependant, très rapidement les sujets instruits s'adaptent aux nouvelles régularités et la stratégie de prédiction des trajets sur la base des indices préparatoires visuels était de nouveau en place.

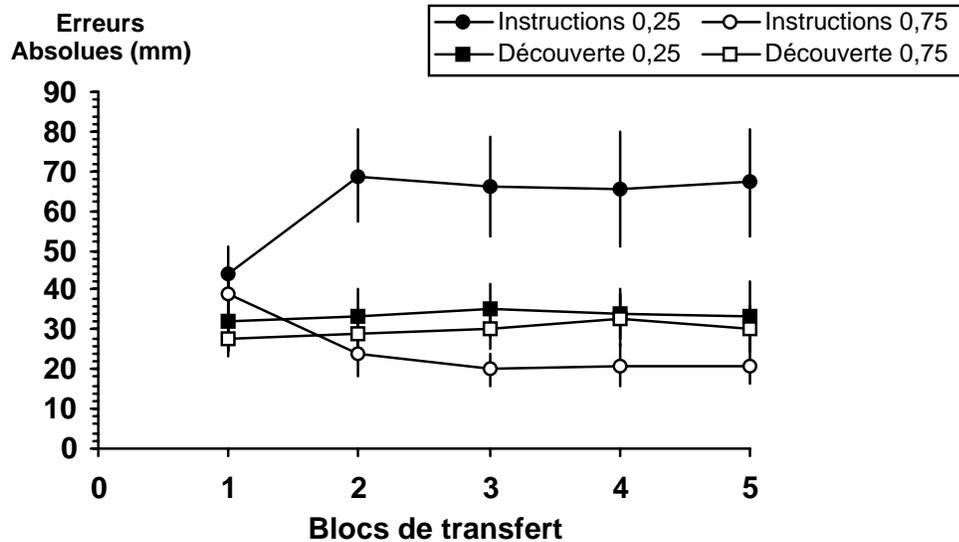


Figure 8.10 : Evolution des erreurs absolues selon la condition d'acquisition et en fonction la condition de préparation des essais, et en fonction des blocs de pratique dans la phase de transfert. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

8.3.2 Résultats de l'analyse des profils de vitesse dans l'acquisition

L'inspection des courbes individuelles des sujets instruits des positions en fonction du temps révèle que la stratégie adoptée face aux différences de probabilité consiste à anticiper systématiquement le trajet associé avec une probabilité de 0,75 à chaque signal, les mouvements pour les trajets peu probables se caractérisent par un déplacement vers la direction fortement probable qui n'est pas suivi d'un réajustement (voir figure 8.11). Face à cette particularité des essais 0,25 pour les sujets instruits, seuls les profils de vitesse des essais 0,75 sont analysés.

L'analyse statistique (anova) inclue le facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions versus Découverte) et porte sur le nombre de pics de vitesse dans les 11 derniers essais 0,75 d'acquisition.

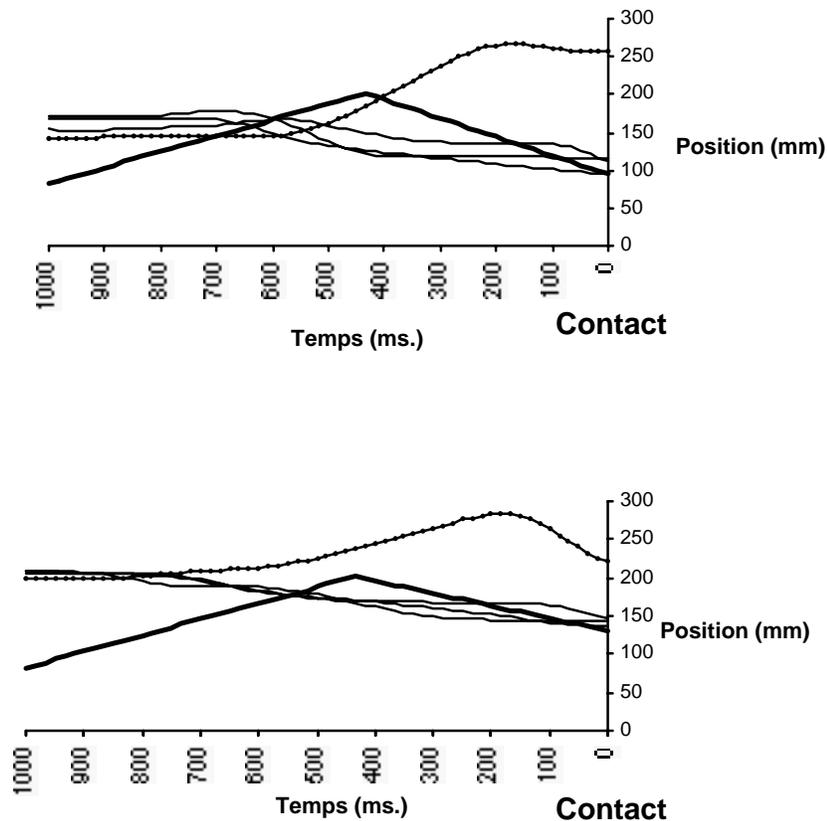


Figure 8.11 : Courbes des positions de la raquette en fonction du temps avant le contact pour 2 sujets instruits, lors du bloc 10. Le tracé en gras correspond à la position de la cible et les tracés continus correspondent aux positions de la raquette pour une relation de valeur de probabilités de 0,75, les trajets pour une relation de valeur de probabilités de 0,25 sont représentés en pointillés.

L'analyse de variance indique un effet significatif de la Condition d'Acquisition ($F(1, 22) = 12,563$, $p < 0,05$). Les pics de vitesse sont plus nombreux pour les sujets Instructions (moyenne 1,99, écart type 6,65) que pour les sujets Découverte (moyenne 1,48, écart type 0,53). La présence de plusieurs pics de vitesse suggère la mise en place d'un contrôle en cours du mouvement. Cette forme du contrôle du mouvement pourrait indiquer un contrôle du mouvement sur la base de la perception des déplacements relatifs de la balle et de la raquette. Ce type de contrôle paraît intéressant dans le contexte de la controverse entre théorie du contrôle proactif et théorie du contrôle continu de l'interception (Bootsma, Fayt, Zaal, & Laurent, 1997 ; Brenner *et al.* 1998 ; Peper, Bootsma, Mestre, & Bakker, 1994 ; Tresilian,

1994 ; 1999 ; Wann, 1996), car ici une prédiction de la trajectoire des cibles est effectivement réalisée. L'intégration de l'usage des indices préparatoires et du contrôle continu est particulièrement étonnante quand la raquette virtuelle est en avance par rapport à la cible dans le déplacement vers la position de contact.

Cependant des types de contrôle variés apparaissent dans la Condition Instructions. Certains sujets atteignent la position de contact entre 450 et 300 ms avant le contact, avec un pic de vitesse placé très tôt (700 à 500 ms. avant le contact) (figure 8.12 a), d'autres sujets réduisent leur vitesse seulement dans les 100 dernières ms. avant le contact, avec un profil de vitesse comportant plusieurs pics (figure 8.12 b).

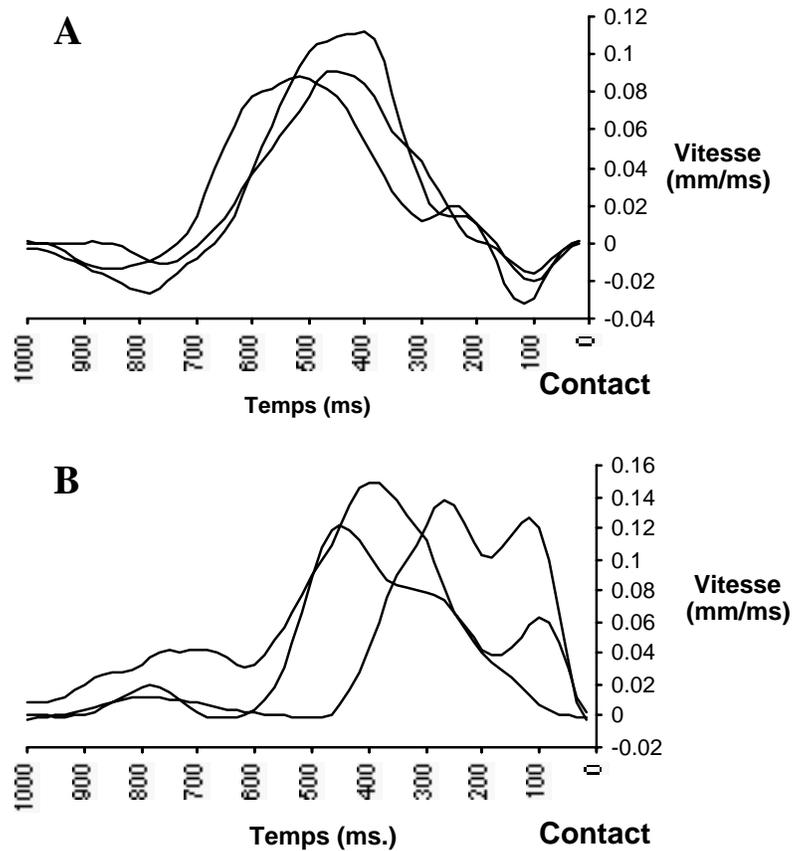


Figure 8.12 a & b : courbes des vitesses en fonction du temps avant le contact pour 2 sujets instruits, lors du bloc 10, pour les essais d'une valeur de probabilité de 0,75.

Enfin, quelques sujets atteignent la position d'interception avec une vitesse non nulle. Une régression linéaire sur les moyennes des Erreurs Absolues des sujets Instructions indique que la précision des interceptions n'est pas liée au nombre de pics de vitesse ($F < 1$). Il semble donc que les différents types de contrôle permettent des niveaux de précision équivalents. Ces formes de contrôle sont distinctes de celles observées pour le groupe Découverte, l'évolution des positions en fonction du temps et les profils de vitesse n'indiquant pas pour ce groupe une anticipation du déplacement des cibles (figure 8.13).

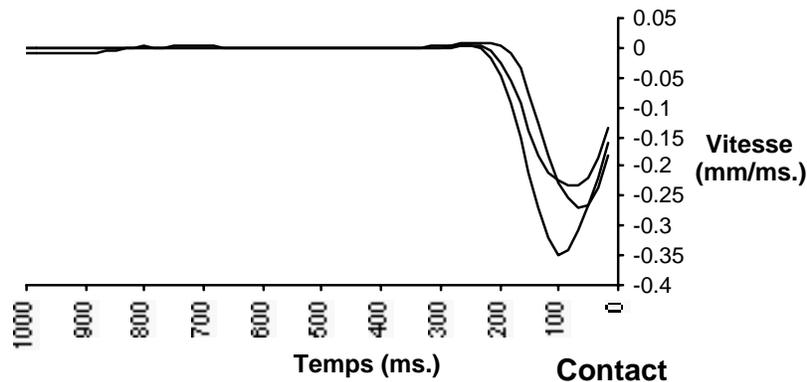


Figure 8.13 : courbes des vitesses en fonction du temps avant le contact pour 1 sujet découverte, lors du bloc 10, pour les essais d'une valeur de probabilité de 0,75.

8.3.3 Résultats dans la tâche de reconnaissance et dans le questionnaire d'explicitation

8.3.3.1 Résultat de la tâche de reconnaissance

Les résultats de la tâche de reconnaissance permettent de s'assurer que la durée de 200 ms choisie pour afficher les indices visuels a permis aux sujets en Condition Découverte de percevoir au moins 50 % des signaux (6 sujets), ou 100% des signaux (6 sujets) (voir tableau 8.3).

Par contre, les réponses à la tâche de prédiction des directions des trajets à partir de la perception des signaux ne peuvent pas être utilisées car la tâche de prédiction faisait suite à la phase de transfert alors que les instructions font référence à la phase de pratique, ce qui introduit une confusion pour le sujet pendant l'exécution de cette tâche.

8.3.3.2 Questionnaire d'explicitation

Les réponses au questionnaire des sujets en Condition d'Acquisition Découverte indiquaient que 3 sujets ne se rappellent pas des formes géométriques. Ces performances de la tâche de rappel révèlent que neuf sujets au moins ont perçu l'existence des indices visuels. Par contre les réponses aux questions qui portent sur l'existence et la nature des relations entre indices visuels et trajets des cibles indiquent que seuls 3 sujets sont capables de rappeler des régularités. Un sujet se rappelle que chaque indice est associé à deux trajectoires, l'une proche et l'autre éloignée du centre de l'écran, et un sujet rappelle le trajet le plus fréquent pour chaque indice. Un troisième sujet rappelle deux relations pour deux indices. Il est de plus à noter que cinq sujets rapportent pendant l'entretien avoir recherché sans succès des relations entre les indices visuels et les trajets des balles.

En ce qui concerne les sujets en Condition d'Acquisition Instructions, 7 sujets témoignent d'une stratégie qui consiste à anticiper exclusivement les trajets prédits avec une forte probabilité. Parmi ces sujets, 2 rapportent que dans un deuxième temps ils tentent d'intercepter tous les types de trajets. 3 autres sujets rapportent avoir abandonné la stratégie de prédiction des trajets au cours de la pratique. Enfin deux sujets se rappelle avoir utilisé quelques indices.

L'intérêt principal des mesures réalisées après la pratique de la tâche est de fournir des informations sur la perception des indices pendant la pratique de la tâche par les sujets qui n'ont pas reçu d'instructions. La tâche de reconnaissance démontre que les indices sont perçus, et permet donc d'évacuer la possibilité que la communication des instructions a une influence uniquement sur la perception des indices et l'orientation de l'attention pendant la pratique.

Tableau 8.3 : nombre d'indices préparatoires rappelés, de relations entre indices et trajet de la cible rappelés lors du questionnaire post pratique, et nombre d'indices préparatoires reconnus lors de la tâche de prédiction par les sujets en Condition d'Acquisition Découverte.

Sujets	Nombre de signaux visuels rappelés (score maximum =	Nombre de relations signaux - trajets rappelés (score maximum =	Nombre de signaux reconnus lors de la tâche de prédiction (score maximum =
S1	2	0	16
S2	3	0	32
S3	2	0	17
S4	3	0	32
S5	0	0	16
S6	2	0	25
S7	2	0	16
S8	4	0	32
S9	0	0	22
S10	0	2	32
S11	4	4	32
S12	4	4	32

8.4 Discussion

Le premier objectif de l'expérience 4 est de préciser en quoi l'acquisition guidée par des instructions diffère d'une acquisition par la découverte de régularités probabilistes. Les régularités probabilistes introduites dans la tâche d'interception pendant 320 essais consistent en des relations entre des signaux visuels affichés pendant le déplacement d'une cible et les trajets de la cibles. Pour chaque signal visuel 2 trajets de la cible sont possibles, l'un avec une probabilité égale à 0,75 et l'autre avec une probabilité de 0,25. L'acquisition des régularités probabilistes est mesurée en comparant la précision des interceptions pour les essais 0,75 et les essais 0,25, et sur la base de la perturbation engendrée à l'issue de la phase d'acquisition par la brusque modification des relations entre signaux et trajets. L'hypothèse testée est que les instructions verbales dégradent l'apprentissage car elles induisent une stratégie d'anticipation des actions d'interceptions sur la base des signaux pour l'ensemble des essais alors que sans instructions une partie seulement des signaux sont utilisés. La seconde hypothèse prédit que les instructions verbales qui décrivent les régularités communiquées

avant la pratique de la tâche facilitent la réalisation d'un transfert de l'acquisition après la modification de ces régularités comparativement à un apprentissage sans instructions. Enfin, un questionnaire d'explicitation et une tâche de reconnaissance des signaux font suite à la phase de transfert afin de vérifier que les sujets sans instructions ont perçu les signaux pendant la pratique de la tâche.

La comparaison des essais selon la valeur de probabilité de la relation signal- trajet et l'effet de la modification brusque des relations à l'issue de la phase d'acquisition montrent que seuls les sujets qui ont reçu des instructions verbales sont sensibles aux régularités probabilistes. En effet, l'acquisition par Instructions était caractérisée par des erreurs spatiales plus importantes pour les essais peu probables que pour les essais probables, et par une modification brusque des performances lors des premiers essais de transfert quand les régularités étaient modifiées. Par contre, il est apparu que l'acquisition par la Découverte se caractérisait par une absence d'usage des indices préparatoires. De plus une analyse des profils de vitesse des mouvements accomplis pour intercepter les cibles lors des derniers essais d'acquisition indiquent une forme de contrôle distincte selon la condition d'instruction. On peut noter de plus que la forme du contrôle du mouvement d'interception varie entre les individus qui ont reçu les instructions verbales.

Nous allons discuter premièrement des effets des effets des instructions sur la stratégie d'exécution de l'interception adoptée par les sujets instruits au cours de l'acquisition. Dans un deuxième temps nous discuterons des effets des instructions comparativement à l'acquisition par la découverte.

L'effet principal des instructions est la mise en place d'une prédiction des trajectoires des cibles à l'aide des signaux visuels préparatoires. Les sujets qui ont reçu les instructions ont adopté une stratégie de prédiction des trajets des cibles qui consiste à anticiper systématiquement le trajet le plus probable, qui s'établit au cours de l'acquisition. Il nous paraît important de souligner à ce niveau que les instructions ne constituent qu'un des composants qui déterminent le comportement observable à l'issue de la pratique. Les instructions communiquées ne spécifient pas la façon d'exécuter la tâche et ne constituent qu'une description de la situation dans laquelle s'effectue l'action. La stratégie comportementale adoptée quand des instructions sont communiquées n'est pas décrite par les instructions verbales et relève d'une mise en place progressive au cours de l'acquisition. Les deux trajets associés à chaque signal se caractérisent par 2 directions distinctes, il semble que

le temps imposé par l'interception empêche la correction de l'anticipation de la direction du mouvement. Les instructions ont donc favorisé une anticipation et du fait des contraintes de la tâche les essais comportant une relation de valeur 0,25 ne sont pas interceptés.

Cette expérience apporte de nouveaux éléments de comparaison entre une acquisition avec des instructions verbales et une acquisition par la découverte. Nous avons prédit que l'acquisition guidée par des instructions différerait de l'acquisition basée sur la découverte du fait qu'elle se caractériserait par une utilisation plus rapide des régularités. Or il s'avère que la nature des effets des instructions verbales n'est pas celle prédite car les sujets sans instructions verbales n'utilisent pas les signaux visuels. Pourtant la durée d'affichage des signaux correspond à une durée qui permettait dans l'expérience 2 une acquisition sans instructions verbales de relations signaux-trajets déterministes. Les résultats de la tâche de reconnaissance indiquent que les sujets sans instructions ont perçu pendant la pratique la moitié ou la totalité des signaux visuels. Sur la base de ces données, il semble peu plausible d'interpréter l'absence d'utilisation des signaux par les sujets non instruits comme causé par des facteurs perceptifs et attentionnels. Il semble plutôt que les sujets non instruits ne sont pas parvenu à extraire les relations entre signaux et trajets. Sans une description verbale préalable les apprentis ne parviennent pas à mettre en relation les différents événements de la situation pour adopter une stratégie de prédiction des trajectoires des cibles. Dans ce cadre, l'interprétation la plus plausible des effets des instructions verbale réside dans la réduction de la complexité de l'acquisition. L'apprentissage par la découverte de régularités probabilistes diffère de l'apprentissage de régularités déterministes, le nombre minimal de règles simples qui permettent de décrire la situation est plus important dans le cas des régularités probabilistes introduite dans l'expérience 4 que dans le cas des régularités déterministes des expériences 1, 2 et 3. Le fait que les régularités soient probabilistes réduit le nombre d'occurrence pendant l'acquisition de chaque relation entre signal et trajet. De plus, l'alternance dans la situation probabiliste de relations entre un signal donné et deux trajets de cibles pourrait masquer pour l'apprenti la structure des régularités, la mise en relations du signal avec un trajet étant infirmée par l'apparition d'une seconde association pour ce même signal. Il apparaît que la description dans des instructions permet de dépasser ces difficultés d'acquisition. Il ressort de l'analyse des résultats que les sujets en condition Découverte n'apprennent pas les régularités probabilistes, mais qu'ils adoptent un autre type d'exécution qui conduit à une précision moyenne des interceptions supérieures à celle des sujets Instruits. Les performances en termes de précision spatiale pour les deux conditions d'acquisition sont

fort différentes selon la Condition de Préparation, le nombre d'interceptions réussies lors des derniers essais de l'acquisition peut nous renseigner sur l'efficacité des stratégies adoptées par chaque groupe. Une analyse de variance sur l'effet de la condition d'acquisition sur le nombre d'interceptions réussies lors du dernier Bloc d'essais d'acquisition indique que la condition d'acquisition (Instructions versus Découverte) a un effet significatif ($F(1,22) = 7,034, p < 0,02$). La figure 8.14 permet de constater que l'acquisition avec des Instructions permet avec la pratique de réussir un plus grand nombre d'interceptions que l'acquisition par la Découverte.

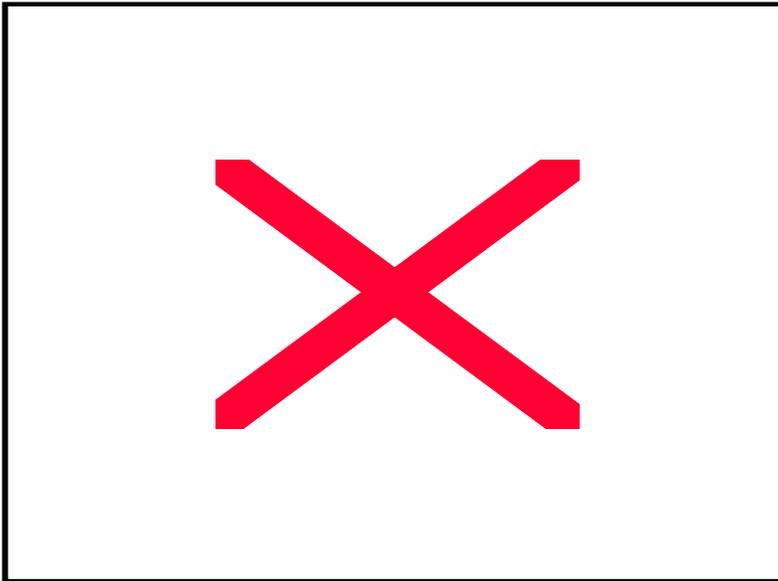


Figure 8.14 : Moyennes des interceptions réussies lors des 32 essais du Bloc 10 de la phase d'acquisition, selon la condition d'acquisition (Instructions versus Découverte), les barres d'erreurs affichées représentent les écarts types.

Ce dernier résultat met en évidence que la stratégie induite par les Instructions permet de tirer un bénéfice de la présence de régularités probabilistes.

Une interprétation divergente serait que les instructions ont comme effet de modifier le seuil d'acceptation du rapport entre bénéfice/ coût qui est inhérent à l'utilisation des indices préparatoires. Le seuil d'acceptation du rapport entre bénéfice et coût d'une anticipation dans un environnement probabiliste a été fréquemment évoqué dans la littérature sur la décision comme déterminant l'utilisation de régularités probabilistes (Alain & Proteau, 1978 ; Dillon, Crassini, & Abernethy, 1989 ; Girardin & Alain, 1978).

Il faut dans ce cadre discuter l'hypothèse que les instructions favorisent l'acceptation d'un rapport 75/25 entre essais probables et peu probables, et qu'en l'absence d'instructions les sujets n'utilisent pas les indices parce qu'ils jugent que le bénéfice tiré d'une prédiction est trop faible. On peut objecter à cette seconde interprétation que les données recueillies ne permettent pas de défendre ce point de vue. En effet, jamais lors de l'acquisition, les performances des sujets en condition Découverte, à l'exception d'un sujet, n'indiquent un usage significatif des indices préparatoires, suivie d'un abandon de cette stratégie. Nous pensons donc que l'interprétation la plus plausible est celle de la réduction de la complexité de la situation, permettant un usage des indices pour intercepter les cibles. Cette interprétation paraît être la meilleure candidate pour expliquer les différences observées entre les deux conditions d'acquisition.

Les résultats obtenus lors du transfert étendent aux régularités probabilistes les résultats obtenus dans l'expérience 1. Les sujets en Condition Découverte ne pas sensibles à la modification des régularités, ceci ne permet pas de comparer les deux conditions d'acquisition pour la réalisation d'un transfert. Il est apparu que l'acquisition des régularités par les sujets instruits ne permet pas un transfert analogique quand ces régularités sont modifiées après la phase d'acquisition. En effet, l'analyse statistique indique clairement que l'utilisation des indices préparatoires par les sujets instruits est perturbée brusquement dans les premiers essais de transfert, et que 32 essais sont nécessaires pour que l'utilisation des indices redevienne significative. Or dans l'acquisition la sensibilité aux différences de probabilité est observable dès le premier bloc de pratique, l'acquisition préalable des régularités ne facilite pas l'utilisation immédiate de nouvelles régularités. Par contre, les performances des sujets instruits en transfert s'améliorent plus rapidement que lors de l'acquisition pour les essais 0,75. Une partie de ce qui est appris lors de l'acquisition est transféré après la modification des relations signaux - trajets. Il apparaît que ce transfert ne se situe pas au niveau de l'adaptation aux nouvelles relations mais de l'optimisation du contrôle proactif pour les essais 0,75.

Cette expérience fournit des enseignements supplémentaires sur les effets des Instructions dans un environnement probabiliste. Pour interpréter ces résultats, il est utile de rappeler que lors de l'expérience 2, les sujets en condition d'acquisition par la Découverte ont utilisé des indices préparatoires dans le cas de régularités déterministes. Il apparaît donc que la présence de régularités probabilistes réduit très fortement les possibilités d'utiliser les

indices préparatoires en l'absence d'instructions verbales, au moins dans la limite des 320 essais de pratique de cette expérience. Il faut ajouter que les 320 essais de pratique de cette expérience semblaient à priori suffisants, étant donné que les données de Green & Flowers (1991) révélaient un effet des régularités probabilistes dans les 160 premiers essais d'acquisition. Dans le même ordre d'idée, Schvaneveldt & Gomez (1998) observaient pour des sujets sans instructions des erreurs de prédiction pour les essais peu probables après seulement 50 essais.

Chapitre IX

Expérience 5

9.1 Objectifs de l'expérience

L'objectif principal de cette troisième expérience est de tester l'hypothèse selon laquelle le moment de communication des instructions peut modifier la stratégie comportementale adoptée dans l'acquisition. Dans cette expérience, les effets d'instructions données au début de l'acquisition et les effets d'instructions données à mi-parcours de l'acquisition sont comparés pour l'apprentissage dans une tâche d'interception dans un environnement probabiliste. Le rôle du moment de communication des instructions est apparu à plusieurs reprises comme une question intéressante mais peu abordée dans l'étude des instructions, qui pourrait permettre de comprendre une part importante des échecs des instructions. Mathews *et al.* (1989, expérience 4) obtenaient des résultats qui indiquaient une amélioration des effets des instructions quand celles-ci étaient communiquées après une pratique de la tâche sans instructions. Mathews *et al.* (1989) proposaient de généraliser ce résultat à tous types d'instructions communiquées dans l'acquisition, en soulignant qu'une pratique préalable sans instructions permettait par la suite à l'apprenti un choix entre plusieurs règles, celles acquises de façon autonome et celles communiquées par les instructions. Cet apprentissage autonome préalable entraîne selon les termes de Mathews *et al.* (1989) la confrontation de plusieurs règles, cette confrontation serait dynamique et pourrait conduire à des effets de « synergie » entre les effets des règles acquises de façon autonome et les règles véhiculées par les instructions verbales. Cependant cette confrontation ne semble pas toujours

aboutir à la mise en place de la stratégie la plus efficace quand les instructions verbales ne sont pas bénéfiques à l'apprentissage. Des instructions sur le mouvement, qui s'avéraient inutiles à l'acquisition dans une première expérience comparativement à un apprentissage par la découverte (Wulf & Weigelt, 1997, exp. 1), dégradèrent immédiatement les performances quand elles étaient communiquées à des sujets après une pratique de la tâche en condition d'apprentissage par la découverte (Wulf & Weigelt, 1997, exp. 2). Le fait que Wulf & Weigelt, (1997) rapportaient un effet négatif sur les performances des instructions communiquées après une pratique en condition d'acquisition par la découverte, ne remet pas en cause l'hypothèse défendue par Mathews *et al.* (1989). En effet, d'une part les participants dans la seconde expérience de Wulf & Weigelt (1997) disposaient de peu de temps de pratique après la communication des instructions pour constater les effets des instructions qui leur étaient communiquées et ainsi estimer si la modification de la stratégie d'exécution de la tâche entraîne un gain ou une dégradation des performances. De plus dans cette expérience l'expérimentateur répétait à plusieurs reprises ces instructions avant le début d'un nouvel essai, ce qui réduit la possibilité d'étudier une évolution dans le temps de la stratégie adoptée comme le prévoient Mathews *et al.* (1989). Dans le cas d'instructions verbales inefficaces, on peut s'attendre selon Mathews *et al.* (1989) à ce que les sujets abandonnent la stratégie induite par les instructions pour adopter la stratégie mise en place avant la communication des instructions, à condition qu'une pratique prolongée de la tâche soit possible. La revue de littérature a mis en évidence que les instructions verbales initiales ont un effet sur le tout début de l'apprentissage mais qui détermine l'évolution du comportement sur une échelle de temps qui s'étend sur une pratique prolongée de la tâche. En étudiant le moment de communication des instructions, on prend en compte la relation dynamique entre ce que l'apprenti peut apprendre de façon autonome et l'apport des instructions.

Trois groupes sont comparés dans cette expérience, un groupe sans instructions, un avec des instructions données au début de l'acquisition, et un groupe avec des instructions données à mi- parcours de l'acquisition. Afin de déterminer si les indices sont utilisés jusqu'à la fin de la phase d'acquisition quelque soit le moment de communication des instructions, le dernier bloc d'essai d'acquisition sera comparé à un bloc d'essais sans aucun signal visuel préparatoire qui fera suite à l'acquisition.

Nous faisons l'hypothèse que le moment de communication des instructions détermine l'adoption d'un des deux types d'exécution de la tâche identifiées dans l'expérience 4 : l'utilisation des signaux visuels quand les instructions sont communiquées au début de la pratique, ou l'interception sans utilisation des signaux visuels adoptée sans instructions. Nous

prédisons qu'un apprentissage préalable sans instructions modifie l'influence des instructions en évacuant la prédiction des trajets sur la base des régularités probabilistes et favorise l'adoption du type de contrôle de l'action adopté en l'absence d'instructions.

9.2 Méthode

9.2.1 Sujets

Trente six étudiants du département de kinésiologie de l'Université d'Etat de Louisiane, 20 femmes et 16 hommes, âgés de 20 à 25 ans, participent à l'expérience en échange de crédits d'étude. Ces participants possédaient une vue normale ou corrigée.

9.2.2 Tâche d'interception

La tâche consiste à intercepter une cible qui parcourt l'écran d'un micro-ordinateur en déplaçant une raquette virtuelle au moyen d'une souris connectée au micro-ordinateur.

9.2.3 Matériel

L'expérience est contrôlée par un micro-ordinateur PC (400 Mhz) équipé d'un écran couleur de 21 pouces, auquel est connectée une souris (400 dpi). La souris est utilisée pour collecter les positions de la main en fonction du temps (Dubrowsky, Lam, & Carnahan, 2000 ; Peters & Ivanoff, 1999). Un tapis neuf vendu dans le commerce est utilisé pour servir de support à la souris. Le programme de l'interface et de la collection des données est réalisé en langage VisualBasic™.

Les coordonnées sur l'axe horizontal de la raquette virtuelle sont collectées par le micro-ordinateur avec une fréquence de 80 Hz durant les 1230 ms que dure un essai, avec une erreur spatiale meilleure que 0,5 millimètre. La fiabilité de l'horloge utilisée dans le programme de l'expérience a été testée dans une expérience pilote. Suite à cette vérification il s'est avéré nécessaire de remplacer l'horloge Visual Basic™ commercialisée par une horloge Microsoft™ garantissant un accès prioritaire à l'horloge du microprocesseur de l'ordinateur. Le sujet est assis à environ 70 cm de l'écran et déplace manuellement une souris. La distance entre l'axe de déplacement de la main sur la table et l'écran est de 20 cm. Les mouvements

des sujets ne sont pas contraints à l'exception de l'obligation de poser le coude du bras qui manipule la souris sur la table.

9.2.4 Stimuli

L'interface est composé d'une raquette virtuelle matérialisée par un rectangle noir (largeur de 0,5 cm), d'une cible représentée par un cercle (diamètre égal à 1 cm), d'une ligne horizontale noire qui matérialisait l'axe sur lequel l'interception devait avoir lieu, et enfin des 4 indices préparatoires (diamètre égal à 1 cm) (voir figure 9.1).

Un repère matérialise la position de départ au centre de la ligne horizontale. La raquette est déplacée au moyen de la souris sur l'axe horizontal exclusivement. Le gain entre le déplacement de la souris et la déplacement de la raquette virtuelle est de 7,87. La fenêtre de l'interface mesure 31,5 cm de large et 23,5 cm de haut. Les formes des trajets des cibles diffère de celles utilisées dans les expériences précédentes et comportent seulement deux segments de droite, la durée du premier segment est de 920 ms et celle du second est de 320 ms. Le premier segment de droite est invariable entre les essais. Le point de départ de ce segment est situé en haut au centre de l'écran, (longueur du segment 16,8 cm). Les indices préparatoires sont affichés pendant que la cible parcourait ce premier segment. Les indices affichés sont des cercles de 1 cm de diamètre de couleurs différentes (bleu, rouge, vert, et jaune). Les indices sont affichés pendant 223 ms, 1 cm à droite de la cible, et se déplacent à la vitesse de la cible pendant la durée de leur affichage. A la suite de la partie invariable des trajets, la cible peut prendre une parmi quatre directions : loin à gauche ou à droite (longueur 16,58 cm), près à gauche ou à droite (longueur 10,17 cm). Les trajets de même longueur situés à gauche et à droite sont symétriques par rapport à l'axe vertical séparant l'écran en deux partie égales. Ces directions déterminent l'amplitude du déplacement sur l'axe horizontal de la raquette virtuelle requise pour toucher la cible, mesurée depuis la position de départ située au centre de l'écran cette amplitude est de 7,56 cm ou de 15,12 cm.

Le déplacement de la cible commence un court instant après que le sujet ait positionné la raquette virtuelle au centre de l'écran, marqué par un ligne verticale noire (hauteur 0,5 cm largeur 0,2 cm). Une connaissance des résultats est affiché après chaque essai et fournit la valeur de l'erreur spatiale de l'essai, soit la différence des positions de la raquette et de la balle.

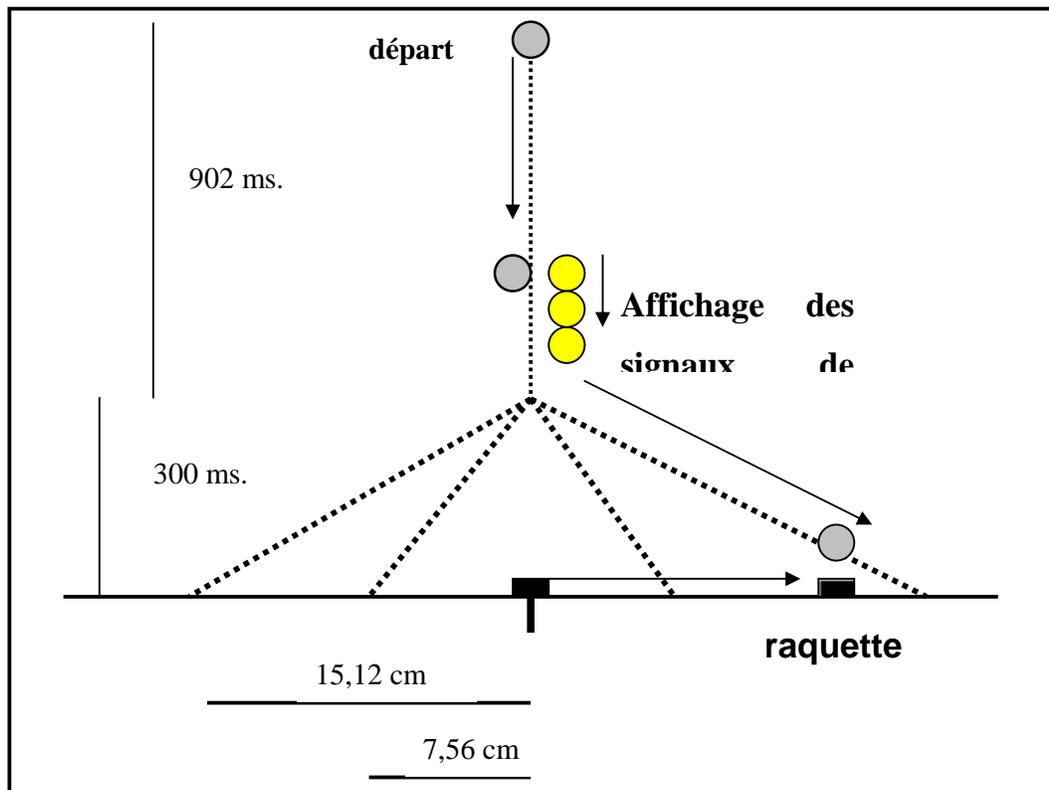


Figure 9.1 : présentation schématique de l'interface de l'interception simulée. Des indices de couleurs distinctes (bleu, rouge, vert, et jaune) sont affichés pendant 223 ms. pendant la première partie des trajets.

9.2.5 Protocole expérimental

Les sujets sont testés individuellement et réparties aléatoirement dans les 3 groupes expérimentaux. L'expérience se déroule dans une pièce calme munie d'un éclairage constant. Trois groupes de 12 sujets sont constitués pour cette expérience. Un premier groupe reçoit les instructions qui décrivent les régularités probabilistes avant de commencer la pratique de la tâche (Condition Instructions). Un second groupe ne reçoit aucune instructions sur les régularités probabilistes (Condition Découverte). Le troisième groupe reçoit les instructions sur les régularités probabilistes après 160 essais de pratique sans instructions (Condition Instruction mi-parcours). Le protocole expérimental est identique à celui de l'expérience 4 à l'exception de la suppression des essais de transfert et de la suppression de la tâche de

reconnaissance. Les sujets doivent exécuter 320 essais de pratique dans lesquels des relations entre signaux visuels et trajets des cibles sont présents, puis 32 essais dans lesquels les indices visuels ne sont pas affichés.

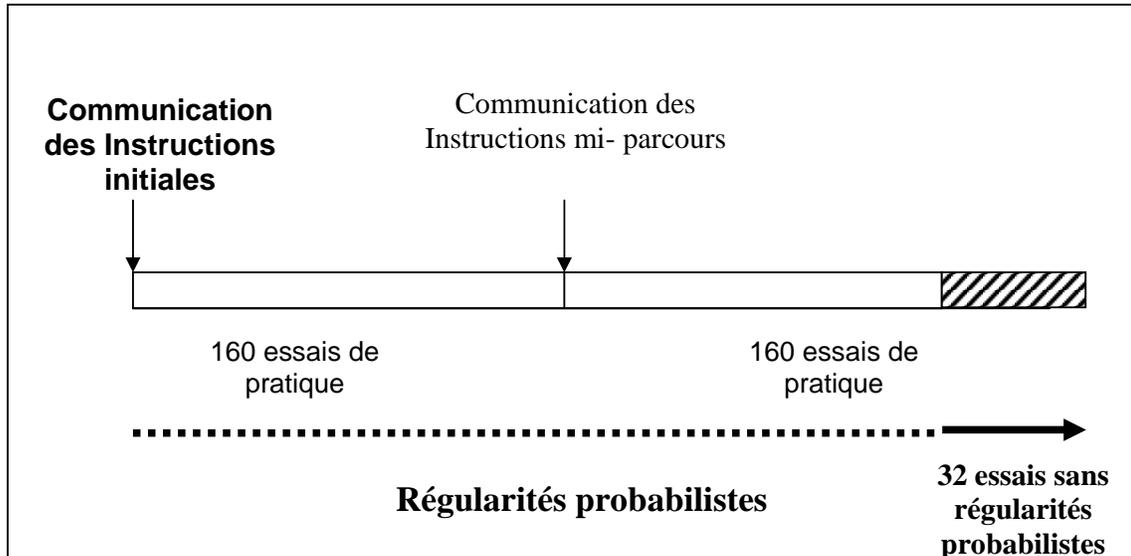


Figure 9.2: Représentation schématique de la procédure expérimentale de l'expérience 5, un groupe (Instructions) recevait des instructions au début de l'acquisition et un groupe (Instructions mi-parcours) recevait des instructions après 160 essais de pratique, le troisième groupe (Découverte) ne recevait aucune instructions sur les régularités environnementales.

Les régularités probabilistes sont similaires à celles utilisées dans l'expérience 3. Quatre indices visuels préparatoires de couleurs distinctes sont utilisés. Les relations probabilistes sont établies de telle manière qu'un indice est associé à deux trajectoires qui diffèrent à la fois par la direction (gauche versus droite) et la distance mesurée depuis la position de départ de la raquette virtuelle (proche versus éloignée). Le ratio entre relations fortement probables et faiblement probables est de 75/25, ces valeurs sont établies selon la même méthode que pour l'expérience 4 en déterminant le nombre d'apparition de chaque relation (4 ou 1) pour 16 essais consécutifs.

Les instructions communiquées avant la pratique de la tâche sont lues par l'expérimentateur à chaque sujet. La correction et la compréhension de ces instructions par des sujets anglophones a été vérifiée auprès d'étudiants du laboratoire de recherche Motor Behavior Laboratory du département de kinésiologie de l'Université d'Etat de Louisiane (USA).

Instructions verbales originales utilisées lors de l'expérience :

Colors dot are displayed on the center of the screen, these colors are related to the direction of the target. These relationships are :

When the red is displayed, the target goes far left in 75% of the case and near right in 25% of the case

When the blue is displayed, the target goes near left in 75% of the case and far right in 25% of the case

When the green is displayed, the target goes near right in 75% of the case and far left in 25% of the case

When the yellow is displayed, the target goes far right in 75% of the case and near left in 25% of the case

Une traduction française de ces instructions est proposée ci-dessous :

Des points de couleurs sont affichés au centre de l'écran, ces couleurs sont reliées à la direction de la cible, ces relations sont : quand le rouge est affiché, la cible se dirige loin et à gauche dans 75 % des cas, et près et à droite dans 25% des cas, quand le bleu est affiché, la cible se dirige près et à gauche dans 75 % des cas, et loin et à droite dans 25% des cas, quand le vert est affiché, la cible se dirige près et à droite dans 75 % des cas, et loin et à gauche dans 25% des cas, quand le jaune est affiché, la cible se dirige loin et à droite dans 75 % des cas, et près et à gauche dans 25% des cas.

9.2.6 Données

L'inspection graphique des dérivées premières et secondes du signal, dont les tracés graphiques accentuent les composants de hautes fréquences (Fioretti, 1996 ; Franks, Sanderson, van Donkelaar, 1990 ; Mottet, Bardy, & Athènes, 1994), permettait de constater que la qualité du signal ne nécessitait pas de filtrage passe-bas. En conséquence les données brutes n'étaient pas filtrées avant le calcul de la variable dépendante.

9.3 Résultats

La variable dépendante est l'erreur spatiale absolue (EA), dont la moyenne pour chaque sujet est calculée pour des blocs de 32 essais consécutifs. Trois analyses des résultats sont conduites sur ces moyennes, qui portent sur l'acquisition lors des 160 premiers essais (blocs 1 à 5), sur les 160 essais qui correspondent à la seconde moitié de l'acquisition (blocs 6 à 10), et sur la transition entre le dernier bloc de l'acquisition et le bloc qui comprend 32 essais sans indices visuels. Les analyses statistiques consistent en des analyses de variances qui comprennent un facteur de groupe (Instructions, Découverte, Instructions mi-parcours) et deux mesures répétées (blocs et condition de préparation des essais).

9.3.1 Résultats lors des 160 premiers essais de l'acquisition

L'analyse statistique (anova) comprend un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions, Découverte, Instructions mi-parcours), et deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, avec 5 niveaux) et d'autre part la Condition de Probabilité des Essais (Essais 0,75 versus Essais 0,25).

L'analyse de variance révèle que la Condition d'Acquisition a un effet significatif sur l'erreur spatiale ($F(2, 33) = 6,668, p < 0,005$). Un test a posteriori de Student-Newman Keuls indique des différences significatives entre les groupes Instructions et Instructions mi-parcours et entre les groupes Instructions et Découverte.

L'effet de la répétition de la Pratique est significatif ($F(4, 132) = 14,315, p < 0,0001$), les erreurs spatiales des trois groupes diminuent avec la pratique de la tâche. De même la

Condition de Probabilité a une influence significative ($F(1,33) = 10,875, p < 0,005$), et interagit de façon significative avec la Condition d'Acquisition ($F(2,33) = 7,188, p < 0,005$).

L'inspection de la figure 9.3 fait apparaître que les moyennes des erreurs absolues du Groupe Instructions pour les Essais 0,25 sont plus importantes que celles des Essais 0,75. Il faut souligner que cette différence entre les deux types d'essais s'exprime dès le premier Bloc d'acquisition. Il apparaît aussi pour le Groupe Instructions une diminution des erreurs spatiales pour les Essais 0,75 importante entre le premier et le second bloc d'acquisition. Cette diminution semble atteindre un plancher dès le Bloc 2. Par contre, les différences entre les deux types d'Essais sont très réduites ou nulles pour le groupe Découverte et pour le groupe Instructions mi-parcours.

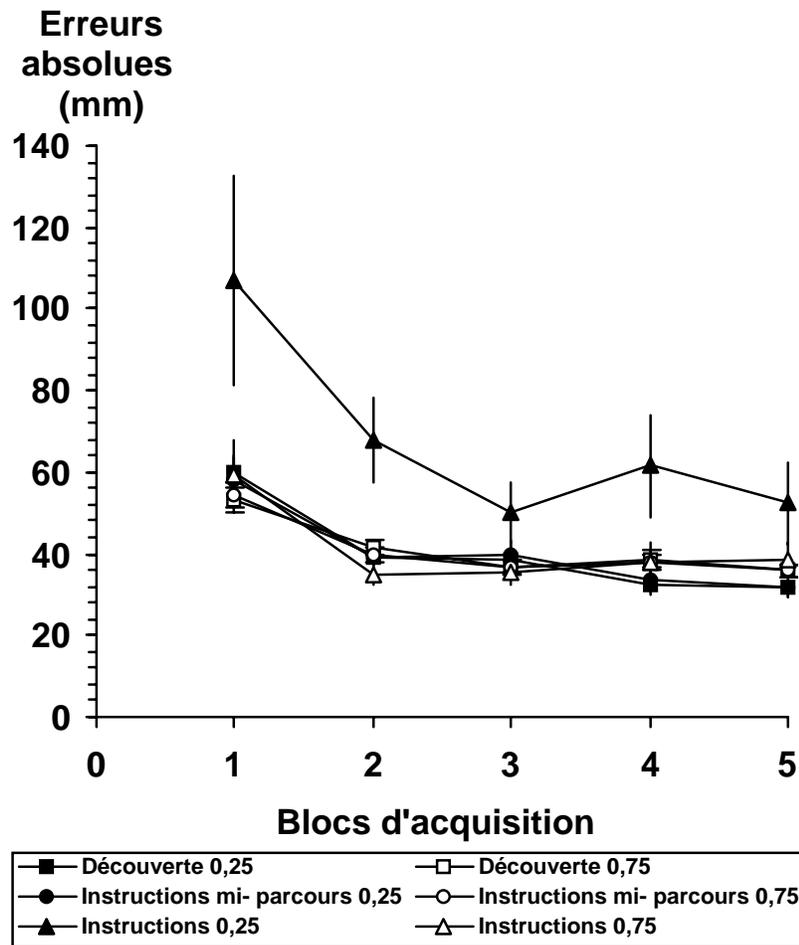


Figure 9.3 : Evolution des erreurs spatiales absolues en fonction de la condition d'acquisition et de la condition de Probabilité des essais, pour les 5 blocs de pratique de la première moitié de la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.

9.3.2 Résultats lors des 160 essais de l'acquisition qui suivent la communication des instructions au groupe Instructions mi-parcours

Dans le but d'analyser l'effet du moment de communication des instructions, une analyse statistique porte sur la seconde moitié des essais d'acquisition. L'objectif de cette analyse statistique consiste à déterminer l'effet du moment de communication des instructions sur les performances. Afin d'effectuer des comparaisons des Conditions d'Acquisition deux à deux qui comprennent des mesures répétées, deux analyses de variance sont effectuées, en incluant exclusivement dans le plan de l'analyse les Groupes Instructions mi-parcours et Instructions, puis en incluant exclusivement les Groupes Instructions mi-parcours et Découverte.

9.3.2.1 Condition Instructions mi-parcours versus Condition Instructions

La première analyse statistique (anova) comprend un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions mi-parcours, Instructions), et deux facteurs à mesures répétées, d'une part la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, avec 5 niveaux) et d'autre part la Condition de Probabilité des Essais (Essais 0,75 versus Essais 0,25).

L'analyse ne révèle pas d'effet significatif de la Condition d'Acquisition. Par contre, l'effet de la Condition de Probabilité atteint le seuil de signification ($F(1,22) = 6,346, p < 0,02$), les EA sont plus importantes pour les Essais 0,25 que pour les Essais 0,75. L'interaction entre la Condition d'Acquisition et la Condition de Probabilité n'est pas significative ($F < 1$). La Pratique ne produit pas une évolution significative des erreurs spatiales ($F(4,88) = 2,299, p < 0,07$). Les autres effets n'atteignent pas le seuil de signification.

La figure 9.4 indique que les erreurs dans les Essais 0,25 du Groupe Instructions mi-parcours évoluent lors des 5 blocs qui suivent la communication des instructions au groupe Instructions mi-parcours. Une analyse des contrastes réalisée pour le Groupe Instructions mi-parcours pour la Condition de Probabilité selon les blocs montre que les performances diffèrent significativement selon la probabilité des essais dans les bloc 6, 7, 8, et 9. Une analyse identique réalisée pour le groupe Instruction indique un effet de la Probabilité pour les bloc 7, 8 et 9.

L'analyse de la seconde moitié des essais d'acquisition ne révèle pas de différences entre les Conditions d'Acquisition Instructions mi-parcours et Instructions. Cependant il semble que les erreurs pour les essais 0,25 se réduisent 9 blocs après la communication des instructions pour le Groupe Instructions. L'absence de signification de l'effet de la Condition de Probabilité lors du bloc 10 pour les deux groupes tend à démontrer que les erreurs pour les Essais 0,25 diminuent, indiquant un abandon de l'utilisation des indices préparatoires. Il faut ajouter au crédit de cette remarque que la variance dans le Groupe Instructions mi-parcours a augmenté pour les Essais 0,25 dans les blocs qui ont suivi la communication des instructions (B6, 7, 8, 9), puis cette variance diminue dans le bloc 10 en même temps que les erreurs dans ces essais. Les sujets du Groupe Instructions mi- parcours semblent massivement abandonner lors du bloc 10 la stratégie qui consiste à utiliser les régularités probabilistes.

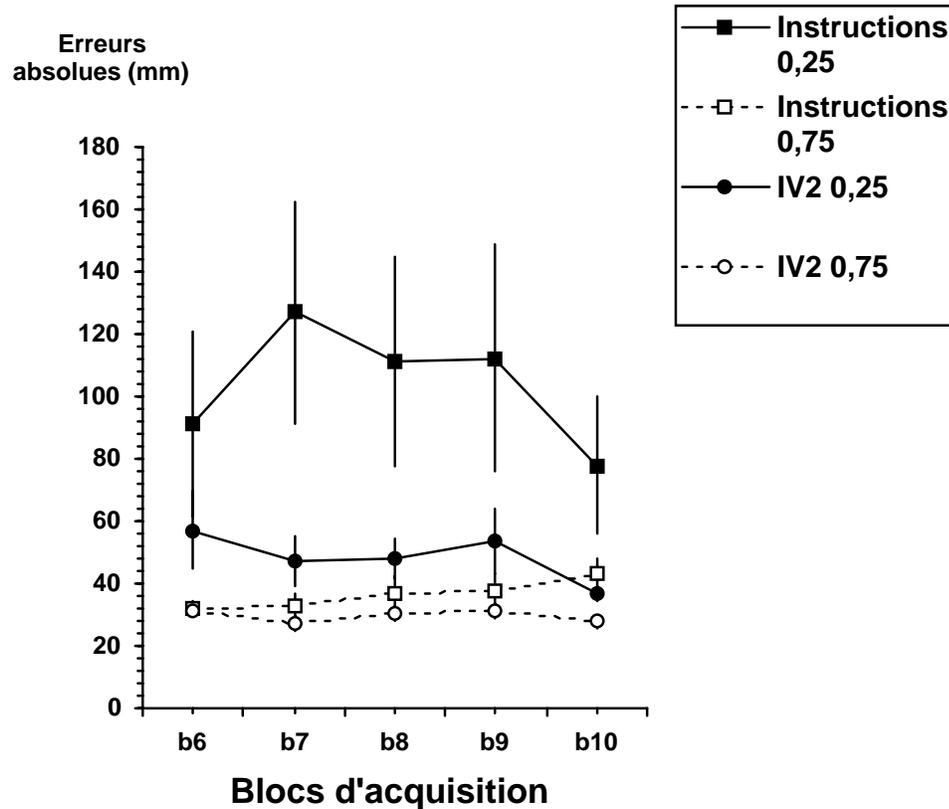


Figure 9.4 : Evolution des erreurs spatiales absolues en fonction de la condition d'acquisition (instructions vs. Instructions mi-parcours) et de la condition de Probabilité des essais, pour les 5 blocs de pratique de la deuxième moitié de la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types. IV 2 désigne instructions mi-parcours.

9.3.2.2 Condition Instructions mi-parcours versus Condition Découverte

Cette seconde analyse statistique (anova) comprend un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions mi- parcours, Découverte), et deux facteurs à mesures répétées, la Pratique de la tâche (répétition des blocs d'essais, avec 5 niveaux) et la Condition de Probabilité des Essais (Essais 0,75 versus Essais 0,25).

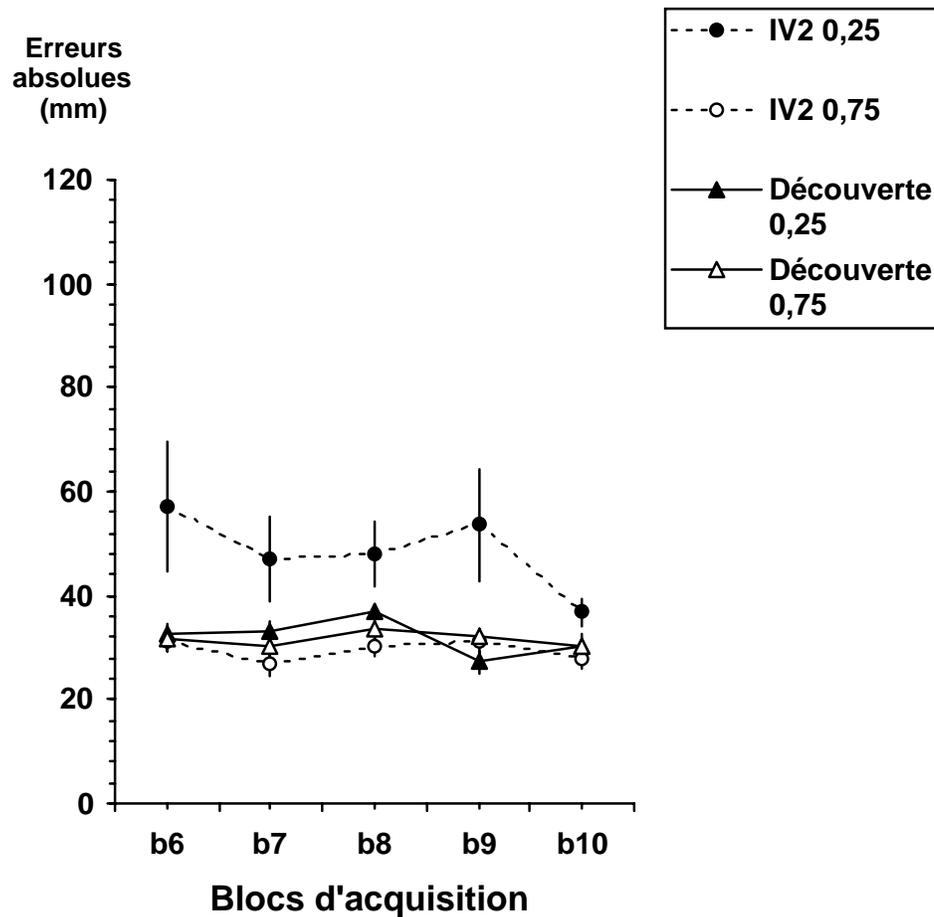


Figure 9.5 : Evolution des erreurs spatiales absolues en fonction de la condition d'acquisition (découverte vs. Instructions mi-parcours) et de la condition de Probabilité des essais, pour les 5 blocs de pratique de la deuxième moitié de la phase d'acquisition. Les barres d'erreurs représentent les erreurs types. IV 2 désigne instructions mi-parcours.

L'analyse de variance ne montre pas d'influence significative de La Condition d'Acquisition ($F(1,22) = 3,447, p < 0,0768$). Différemment, la Condition de Probabilité a un effet significatif sur les erreurs spatiales ($F(1,22) = 10,3, p < 0,004$), et l'interaction entre La Condition d'Acquisition et la Condition de Probabilité atteint le seuil de signification ($F(1,22) = 9,49, p < 0,006$). Comme le montre la figure 9.5, les erreurs spatiales absolues sont plus importantes pour les Essais 0,25 que pour les Essais 0,75 dans la Condition Instructions mi-parcours mais pas dans la Condition Découverte. Par contre, l'effet de la Pratique n'est pas significatif, et ce facteur n'interagit pas de façon significative avec un autre facteur de l'analyse.

9.3.3 Résultats lors de la transition entre le Bloc 10 d'acquisition et le Bloc test dénué de régularités probabilistes.

L'analyse statistique est menée en deux étapes du fait que le facteur à mesures répétées Condition de Préparation ne peut être utilisé dans le Bloc Test. Ceci est accompli en comparant les erreurs spatiales pour les Essais 0,25 lors du Bloc 10 et les erreurs spatiales pour le Bloc Test, puis en comparant les erreurs spatiales pour les Essais 0,75 lors du Bloc 10 et les erreurs spatiales pour le Bloc Test.

3.3.1 Transition entre Essais 0,25 du Bloc 10 et Essais du bloc Test

L'analyse statistique (anova) inclue un facteur de groupe Condition d'Acquisition (Instructions, Découverte, Instructions mi-parcours), et le facteur à mesures répétées Transition (Bloc 10, Bloc Test).

L'analyse de variance montre tout d'abord que l'effet de la Condition d'Acquisition n'est pas significatif ($F(2, 33) = 1,85, p < 0,2$). L'influence de la Transition n'atteint pas le seuil de signification ($F(1, 33) = 3,917, p < 0,06$), ni l'interaction entre la Transition et la Condition de Probabilité ($F(2, 33) = 2,671, p < 0,09$).

Deux analyses de variance supplémentaires qui comparent respectivement les groupes Instructions et Instructions mi-parcours, et les groupes Découverte et Instructions mi-parcours

ne révèlent aucun effet significatif. La transition entre Essais 0,25 du Bloc 10 et bloc Test ne permet pas de distinguer le groupe Instructions mi-parcours des deux autres groupes.

3.3.2 Transition entre Essais 0,75 du Bloc 10 et Essais du bloc Test

L'analyse statistique (anova) inclue un facteur de groupe Condition de l'Acquisition (Instructions, Découverte, Instructions mi-parcours), et le facteur à mesures répétées Transition (Bloc 10, Bloc Test).

L'analyse de variance n'indique pas d'influence significative de la Condition d'Acquisition ($F(2, 33) = 1,697, p < 0,2$). De plus, l'effet de la Transition n'atteint pas le seuil de signification ($F < 1$). Par contre l'interaction entre la Transition et la Condition de Préparation est significative ($F(2, 33) = 6,297, p < 0,005$).

Comme précédemment, deux analyses de variance supplémentaires qui comparent respectivement les groupes Instructions et Instructions mi-parcours, et les groupes Découverte et Instructions mi-parcours, sont réalisées. L'analyse de variance qui compare les groupes Découverte et Instructions mi-parcours ne révèle aucun effet significatif. Par contre l'analyse de variance qui compare les groupes Instructions et Instructions mi-parcours indique un effet significatif de l'interaction entre la Condition d'Acquisition et la Transition ($F(1,22) = 8,826, p < 0,007$).

La figure 9.6 permet de constater que la transition entre bloc 10 et bloc Test affecte de façon prononcée la précision spatiale du groupe Instructions mais pas celles des groupes Instructions mi-parcours et Découverte. Les erreurs spatiales pour le groupe Instructions sont plus importantes lors du Bloc 10 que lors du Bloc Test. Ce résultat inattendu indique que l'usage des indices préparatoires entraîne un coût en termes de précision pour les Essais 0,75 lors du Bloc 10 pour le groupe Instructions.

L'analyse des erreurs pour les Essais 0,75 indique un usage des régularités probabilistes par le groupe Instructions distinct de celui du groupe Instructions mi-parcours. Comme le montre la figure 9.6 le groupe Instructions est sensible à la suppression des régularités probabilistes, qui produit une réduction des erreurs spatiales des interceptions.

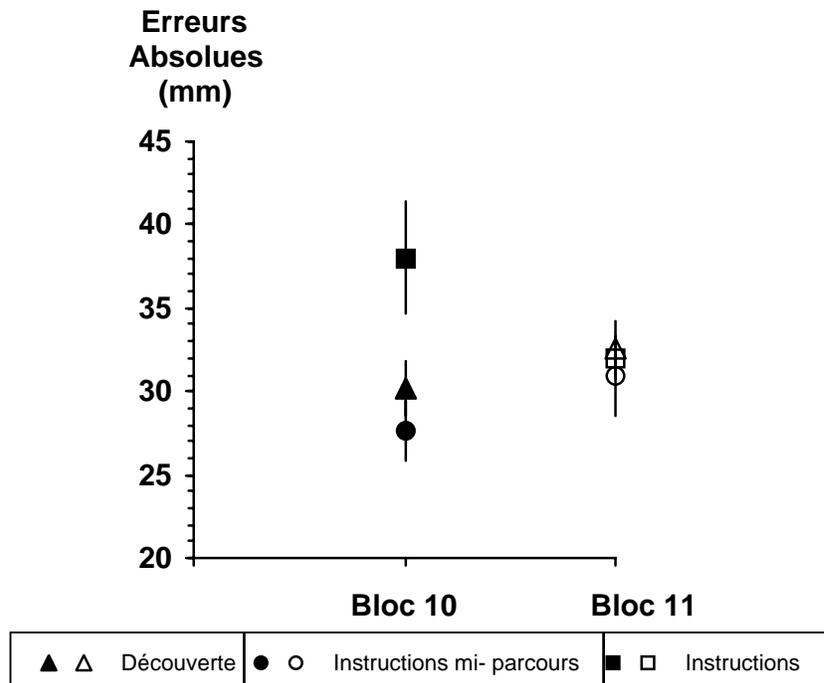


Figure 9.6 : moyennes des erreurs spatiales absolues pour les essais comportant une relation de probabilité 0,75 selon la condition d'acquisition et en fonction du bloc lors de la transition entre le dernier bloc de la phase d'acquisition et le bloc test.

Ce résultat met en évidence que l'utilisation des relations 0,75 pour prédire le trajet de la cible pour les sujets instruits entraîne un coût et non pas un bénéfice. Il semble que la réduction des erreurs spatiales dans les Essais 0,75 pour le groupe Instructions atteint rapidement un plancher, puis semble augmenter entre les Bloc 6 et 10. L'effet de la Transition sur le groupe Instructions pourrait donc provenir d'une augmentation des erreurs qui commence au bloc 6. L'analyse de la Transition indique que l'évolution de la stratégie mise en place au cours de la pratique diffère selon le moment de communication des instructions, et surtout elle indique que le groupe Instructions est toujours sensible aux régularités probabilistes après 320 essais de pratique, alors que le groupe Instructions mi-parcours

abandonne l'usage des régularités 128 essais de pratique après la communication des instructions.

9.4 Discussion

L'objectif de cette expérience est d'étudier l'influence des instructions selon le moment de communication pendant la pratique de la tâche. Une analyse de la littérature sur les effets des instructions a montré que les instructions communiquées au début de l'apprentissage ont un effet qui persiste sur une échelle de temps étendue. Cette persistance dans le temps de la stratégie induite par les instructions initiales est un élément important pour comprendre comment des instructions peuvent conduire à des échecs alors que des sujets qui apprennent sans instructions découvrent une solution pertinente au problème posé par la tâche. Quelques auteurs se sont intéressés au rôle du moment de communication des instructions, mais à notre connaissance sans poser la question de la durée des effets des instructions. En effet pour étudier cette question un temps suffisant de pratique après la communication est nécessaire pour éviter de ne constater que des effets immédiats des instructions. De plus, cette question ne peut être abordée que si les instructions ne sont pas répétées à des intervalles réguliers pendant que le sujet pratique la tâche. Dans cette expérience nous comparons des sujets qui reçoivent des instructions au début de l'acquisition, des sujets qui reçoivent des instructions au milieu de l'acquisition, et des sujets qui ne reçoivent aucune instruction. Nous prédisons qu'un apprentissage préalable sans instructions modifie l'influence des instructions en empêchant l'adoption de la stratégie de prédiction des trajets sur la base des régularités probabilistes et favorise l'adoption de la stratégie adoptée en l'absence d'instructions.

Les résultats indiquent que les instructions communiquées au début de la pratique de la tâche induisent une exécution de l'interception à l'aide des signaux visuels. Les instructions communiquées à mi-parcours induisent immédiatement après leur communication un changement de type d'exécution : la stratégie d'exécution sans prédiction adoptée avant la communication des instructions est remplacée par la stratégie de prédiction de l'interception sur la base des signaux visuels. Le résultat important réside dans le fait que les sujets instruits au début de la pratique conservent la stratégie de prédiction durant toute la phase de pratique

de la tâche, soit pendant 10 blocs après la communication, alors que les sujets instruits à mi-parcours abandonnent la prédiction dans le dernier bloc de pratique, soit 4 blocs après la communication. Le deuxième résultat intéresse complètement les résultats de l'expérience 4, et provient du constat que la stratégie de prédiction des trajets n'apporte pas un gain de précision de l'interception pour les essais 0,75 comparativement à la stratégie qui consiste à ne pas utiliser les signaux visuels. Cette absence de gain en précision quand les signaux sont utilisés s'accompagne d'une stagnation des performances pour les sujets instruits à partir du bloc 2.

La discussion portera sur la comparaison des effets de la communication des instructions initiales et des instructions données à mi-parcours de la pratique, puis sur les différences observées entre cette expérience et l'expérience 4.

L'hypothèse d'une influence du moment de communication des instructions est confirmée par cette expérience, mais il est apparu que cette influence prenait une forme particulière qui doit être détaillée. Nous avons prédit que la communication des instructions après un apprentissage par la Découverte réduit l'utilisation des régularités probabilistes décrites par les instructions. Hors, l'utilisation des régularités probabilistes par le groupe Instructions mi-parcours est observée dès le premier bloc d'essais qui succède la communication des instructions. En effet, les sujets qui reçoivent les instructions après 160 essais changent immédiatement de stratégie et utilisent les indices dont l'utilisation n'est pas en place avant les instructions. L'effet immédiat des Instructions mi-parcours semble ne pas dépendre du moment de communication. L'influence de la pratique préalable de la tâche en condition découverte n'a pas une influence immédiate sur la stratégie adoptée par les apprenants. Une analyse sur une durée plus longue met en évidence que les effets des instructions sur les groupes Instructions et Instructions mi-parcours diffèrent. La transition entre le Bloc 10 et le Bloc Test montre que les sujets du groupe Instructions sont toujours sensibles aux régularités probabilistes après 288 essais de pratique, alors que les sujets du groupe Instructions mi-parcours ne sont plus sensibles à ces régularités. Ce résultat indique que l'effet d'un apprentissage préalable par la découverte modifie l'influence des instructions avec un délai temporel de 128 essais à la suite de la communication des instructions. Il semble donc que l'effet du moment de communication sur l'évolution de la stratégie mise en place est plus lente que prévue. Cette expérience renseigne sur le fait que les instructions communiquées avant toute pratique de la tâche déterminent la mise en place d'un mode d'exécution de la tâche qui reste présent au cours de la pratique, par contre un apprentissage préalable basé sur la découverte réduit la persistance de la stratégie déterminée par les

instructions. La persistance de la stratégie induite par la communication initiale des instructions est surprenante du fait que la précision des interceptions atteignent rapidement un niveau minimal pour ne plus s'améliorer par la suite. Il est plausible qu'un apprentissage sans instructions avant la communication des instructions à mi-parcours permet la constitution d'une sorte de niveau de référence des performances auquel le niveau induit par les instructions peut être comparé.

L'évolution au cours du temps de la stratégie des sujets instruits avant la pratique, comparée à l'évolution des sujets instruits à mi-parcours, apporte un éclairage supplémentaire sur la nature de l'influence des instructions dans le cadre de l'acquisition. Il semble en particulier que la communication initiale des instructions limite fortement l'exploration de la tâche par les apprentis. Ce résultat permet de réaliser que des instructions qui ne sont pas efficaces déterminent l'acquisition pour une durée importante et atténuent la mise en place d'une solution alternative à la tâche. Contrairement aux expériences 1 et 4, les effets des instructions dans l'expérience 3 ne procurent pas un bénéfice pour les performances. Les résultats recueillis permettent donc d'illustrer un type d'échecs des instructions. En effet, dans la tâche étudiée dans cette expérience, on peut considérer que les instructions empêchent la découverte d'une solution pertinente au problème posé par la tâche.

D'un point de vue pratique, pour l'enseignant ou l'entraîneur, il ressort de cette expérience qu'une exploration autonome de la tâche par l'apprenti avant la communication des instructions verbales peut apporter un bénéfice à d'une méthode d'enseignement, et ce d'autant plus que les effets des instructions spécifiques communiquées ne sont pas connus de l'entraîneur ou de l'enseignant du fait d'une expérience préalable.

Les propositions formulées par Mathews *et al.* (1989) semblent confirmées par cette expérience, et ainsi étendue à des instructions spécifiques dans un paradigme différent de l'apprentissage des grammaires artificielles. Selon Mathews *et al.* (1989) la communication des instructions suite à un apprentissage autonome permet à l'individu de disposer de solutions plus variées pour exécuter la tâche plus importante que lorsque les instructions sont communiquées dès le départ. Cette notion de variété des règles acquises renvoie dans le cadre particulier des expériences 4 et 5 à deux façon d'exécuter l'interception : l'intégration de l'utilisation des régularités probabilistes et des informations spécifiées par les déplacements de la cible et de la raquette, ou l'utilisation exclusive des secondes. La communication des instructions après un apprentissage par la découverte a permis aux apprentis d'expérimenter les deux modes d'exécution de l'interception. Etant données les contraintes de la tâche dans

cette dernière expérience, la prédiction probabiliste des trajets n'apporte pas un gain important de précision, ce qui semble expliquer l'abandon de ce type d'exécution après 128 essais dans le groupe Instructions mi-parcours. De façon très différente des observations de Mathews *et al.* (1989) les règles acquises de façon autonome et celles acquises à l'aide des instructions n'interagissent pas de manière à créer ce que les auteurs nomment une "synergie". Dans l'expérience 5 du présent travail les deux stratégies acquises semblent mutuellement exclusives, cette expérience ne constitue donc qu'une exploration très partielle des effets possibles du moment de communication des instructions.

A un second niveau, cette expérience permet de compléter et d'étendre les résultats obtenus lors de l'expérience 4. L'enseignement qui peut être tiré de cette expérience est que l'effet général des instructions relevé dans l'expérience 4 est retrouvé, mais doit être tout de même précisé. L'adoption d'une stratégie de prédiction des trajets des cibles sur la base des relations indices visuels- trajets est significative uniquement quand des Instructions sont communiquées, comme l'indiquent la présence d'importantes erreurs spatiales pour les Essais 0,25. On retrouve dans cette nouvelle expérience l'influence des instructions sur le type de stratégie d'exécution de l'interception déjà observée dans l'expérience 4, alors que plusieurs paramètres de la tâche ont été modifiés entre les deux expériences. Il faut rappeler que les formes géométriques utilisées comme indices préparatoires ont été remplacées par des indices de couleurs, et que des changements affectent aussi des paramètres temporels, la forme des trajets et le gain entre les déplacements de la main et les déplacements de la raquette. Les conséquences de ces modifications peuvent être commentées. Tout d'abord l'emploi des couleurs peut faciliter la discrimination des indices, ce qui peut rendre l'acquisition des régularités plus rapide. La modification de la forme des trajets peut exclure la mise en place du type de contrôle du mouvement d'interception observé pour quelques sujets dans les expériences précédentes, qui consistait à poursuivre la balle tout le long de son trajet, c'est à dire avant et après le point qui sépare la partie invariable et la partie variable des trajets. Aucune poursuite préalable n'est possible dans l'expérience 5, la trajectoire de la balle avant la bifurcation étant un segment de droite vertical dont la position selon l'axe horizontal est identique à la position de départ de la raquette. Une modification importante pouvait provenir de l'introduction d'un gain entre les déplacements de la main et les déplacements de la raquette. Sur la base des travaux de Woodworth (1899) sur la relation entre précision d'une action de pointage sur une cible statique et le temps requis par la tâche pour exécuter l'action,

on peut penser que ce changement modifie fortement les contraintes de l'interception. L'amplitude des déplacements de la main est réduite grâce au gain introduit, ce qui tendrait, bien que l'action soit une interception et non un pointage sur cible statique, à réduire le temps requis pour effectuer la tâche de pointage, et par voie de conséquence à augmenter la précision de l'action d'interception. On peut ajouter que cette modification peut aussi modifier la cinématique du mouvement, en réduisant la non-linéarité de la dynamique du mouvement (Guiard, 1993 ; Mottet & Bootsma, 1999). Un deuxième paramètre important qui est modifié entre l'expérience 4 et cette dernière expérience est l'intervalle de temps séparant les signaux visuels et le passage de la cible sur l'axe de l'interception. Cette pression temporelle pour la perception et l'utilisation des signaux visuels pourrait expliquer l'apparition d'un plancher dans la réduction des erreurs spatiales des sujets instruits dès le bloc 2.

Chapitre X

Discussion générale et perspectives

Ce travail a pour but l'étude des effets des instructions verbales sur l'apprentissage dans des tâches motrices. Le point de départ de notre étude réside dans le choix d'une définition des instructions verbales qui repose essentiellement sur des travaux menés sur le discours procédural dans le cadre de la théorie des actes de langage (Virbel, 1999). L'intérêt de ce point de départ pour notre recherche est de souligner que les instructions verbales constituent un type de discours dont la visée est l'aide à l'accomplissement d'une action par le destinataire. Ainsi définies, les instructions se caractérisent par une visée pragmatique et ne sont pas réduites à un domaine de la mémoire déclarative indépendante des activités procédurales et non déclaratives (Squire, 1992), ou à une activité symbolique dissociée des processus perceptifs ou sensori-moteurs.

Il faut souligner le faible développement des travaux expérimentaux sur les effets des instructions verbales sur l'acquisition de régularités dans des tâches motrices et sur l'acquisition d'habiletés motrices. Ces travaux expérimentaux ont abordé l'apprentissage avec des instructions verbales par opposition à un apprentissage sans instructions, dénommé apprentissage par la découverte, et plus récemment par opposition à un apprentissage implicite. L'emprunt de la dissociation entre apprentissage implicite et apprentissage explicite est basé sur le constat que des instructions verbales qui décrivent la structure des régularités qui composent l'environnement ou une façon d'exécuter un mouvement ont des effets nuls ou négatifs en comparaison d'un apprentissage sans instructions. Dans ce cadre, les effets de ces instructions sont assimilés aux effets des instructions testées dans les paradigmes de l'apprentissage implicite, qui incitent l'apprenti à rechercher des règles qui structurent les

stimuli (Reber, 1989). Poser que l'apprentissage sans instructions est implicite revient à accepter que cet apprentissage s'établit sans recherche consciente et délibérée des régularités de l'environnement auxquelles s'adapte l'apprenti et que la structure de ces régularités ne peut pas être explicitée après l'apprentissage. Soulignons que cette idée d'un apprentissage de régularités environnementales s'établissant sans conscience dans le cas tâches motrices était déjà avancée par Pew (1974). Une analyse des travaux sur l'apprentissage implicite montre néanmoins que les résultats expérimentaux ne sont pas tous en faveur d'une dissociation entre apprentissage implicite et apprentissage explicite. Ces développements dans la littérature sur l'apprentissage implicite conduisent à de nouvelles hypothèses relatives aux effets des instructions verbales sur l'apprentissage de régularités de la situation. Il semble alors que l'effet d'instructions spécifiques qui décrivent les régularités de l'environnement n'est pas assimilable aux effets des instructions qui encouragent la recherche de règles dans les stimuli.

Plusieurs travaux montrent que les effets des instructions verbales sur l'apprentissage sont liés à la structure de ces régularités. La présence de régularités probabilistes pourrait en particulier entraîner des effets négatifs des instructions (Green & Flowers, 1991 ; Magill, 1998 ; Magill & Clark, 1997). De plus, l'étude de la nature des effets des instructions sur le transfert paraît une piste de recherche intéressante. Du fait qu'elles communiquent une description des relations entre événements de la situation, les instructions verbales pourraient faciliter la réalisation d'un transfert analogique de l'apprentissage quand l'environnement change.

Les effets des instructions verbales sur l'apprentissage dans des tâches motrices étaient encore mal connus, ce qui justifie des recherches supplémentaires sur les conditions d'efficacité des instructions et la nature de leurs effets. La contribution expérimentale dans cette thèse a porté sur les effets des instructions sur l'apprentissage et le transfert dans une tâche d'interception de cible mobile, ainsi que sur l'effet du moment de communication des instructions pendant l'apprentissage. Les instructions étudiées décrivent les régularités qui structure l'environnement et qui consistent en des co-variations entre un signal visuel discret et le trajet de la cible.

La première hypothèse testée dans ce travail est que les instructions verbales facilitent l'apprentissage de régularités déterministes sans dégrader l'exécution de l'interception. La

deuxième hypothèse avancée est que les instructions dégradent l'acquisition des régularités probabilistes dans la tâche d'interception.

La troisième hypothèse testée est que les instructions facilitent le transfert de l'acquisition des régularités environnementales comparativement à une condition sans instructions.

Enfin, il est proposé une relation entre les effets des instructions et le moment de leur communication au cours de l'apprentissage (Mathews *et al.*, 1989). Cette dernière position donne lieu à une cinquième expérience, dans laquelle l'hypothèse testée est que le moment de communication des instructions, au début ou au milieu de la pratique, modifient l'influence de celles-ci sur l'apprentissage.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans les 5 expériences montrent que les instructions s'avèrent nécessaires à l'apprentissage des régularités environnementales dans la tâche d'interception. À plusieurs reprises une condition d'acquisition sans instructions n'a pas permis cet apprentissage. De plus, les données recueillies n'étayaient pas l'hypothèse que les instructions verbales facilitent le transfert de l'acquisition des régularités environnementales.

Les apports de ces résultats vont être discutés en abordant successivement les questions (1) de la nature de l'aide apportée par les instructions verbales en comparaison de l'apprentissage basé sur la découverte, (2) de la nature des effets des instructions dans le cas de régularités probabilistes en fonction des contraintes temporelles et spatiales de la tâche, et (3) de la relation entre le moment de communication des instructions et l'exploration de la tâche par l'apprenti. Cette discussion débouchera sur des perspectives de recherches relatives à la production des instructions pour explorer dans un cadre plus large les effets des instructions verbales sur l'apprentissage et sur des hypothèses générales sur les relations entre langage et action.

10.1 Nature de l'aide à l'acquisition des régularités apportée par les instructions verbales

Pour mesurer l'acquisition des relations déterministes entre signaux et trajets des cibles dans les expériences 1, 2 et 3, nous avons comparé la précision spatiale des performances pour des essais dans lesquels un signal visuel permet d'anticiper l'action et des essais dans lesquels un indice visuel qui n'est pas relié à un trajet est affiché. Les résultats indiquent que

pour les régularités déterministes les sujets sans instructions n'apprennent pas les relations signaux-trajets, par contre les sujets qui reçoivent des instructions utilisent ces relations. L'expérience 2, complémentaire à l'expérience 1, montre que si la durée d'affichage des signaux est augmentée de 100 à 200 ms, alors les sujets sans instructions apprennent les régularités déterministes. L'expérience 3 indique de plus que si la perception des signaux est requise pour l'exécution une tâche secondaire alors l'acquisition des relations signaux-trajets est observée. Dans l'expérience 4, l'acquisition des relations signaux-trajectoires probabilistes est évaluée en comparant les erreurs spatiales pour des essais qui comportent une relation de probabilité 0,75 et pour des essais qui comportent une relation de probabilité 0,25. Par ailleurs un autre test de l'acquisition des régularités probabilistes est basé dans cette expérience sur l'analyse des effets du changement brusque des relations signaux-trajets après 320 essais d'acquisition. Les résultats indiquent de nouveau que seuls les sujets qui reçoivent des instructions verbales utilisent les relations signaux- trajets, et ce alors que la durée des signaux est de 200 ms.

Ces résultats montrent clairement, tant dans l'expérience 1 que dans l'expérience 4, que les instructions sont nécessaires à l'acquisition. Ceci ne correspond pas aux données de la littérature. Cependant, du fait des résultats obtenus dans les expériences 2 et 3 en complément de l'expérience 1, l'aide apportée par les instructions dans l'expérience 1 semble distincte de celle apportée dans l'expérience 4. Nous allons tout d'abord discuter les effets des instructions relevés dans les expériences 1, 2 et 3, puis ceux constatés dans l'expérience 4.

10.1.1 L'apprentissage de relations signaux-trajectoires déterministes, avec des signaux affichés pendant 100 ms

Lors de l'expérience 1, l'absence d'apprentissage des relations signaux-trajets par les sujets sans instructions semble provenir d'une absence de perception des signaux affichés. Les expériences 2 et 3 montrent que l'augmentation de la durée des signaux, ou la perception des signaux pour réaliser une tâche secondaire, conduit à l'extraction des relations déterministes. L'aide apportée par les instructions dans le cas des signaux de 100 ms pourrait donc être considérée essentiellement comme une orientation de l'attention sur la partie de l'environnement où sont présents les signaux. Cette interprétation en termes d'orientation de l'attention confirme une hypothèse générale sur les effets des instructions verbales sur l'apprentissage (Magill, 1989), et aussi des hypothèses relatives au rôle du langage dans la

cognition (Jackendoff, 1996). A notre connaissance cette hypothèse a reçu peu de supports expérimentaux. Dans la tâche d'interception, l'attention en l'absence d'instructions serait orientée de manière à assurer le contrôle visuo-moteur de l'interception, qui est une composante nécessaire de l'interception, par contre, l'extraction des relations entre signaux et trajets n'est pas une conséquence obligatoire de l'exécution de l'interception. L'apprentissage des régularités introduites dans la tâche d'interception semblent correspondre à un apprentissage qui requiert des instructions pour la sélection des événements pertinents de l'environnement (Haider & Frensch, 1996), et non pas à un apprentissage qui est une conséquence obligatoire de l'attention dont l'orientation déterminée seulement par l'exécution de la tâche (Logan, 1988).

10.1.2 L'apprentissage de relation signaux-trajectoires probabilistes, dans le cas de signaux affichés pendant 200 ms

Les résultats obtenus avec des régularités probabilistes apportent un éclairage distinct sur les effets des instructions verbales. En effet, dans l'expérience 4 seuls les sujets instruits apprennent ces régularités alors que les signaux sont affichés pendant 200 ms. Afin de cerner plus précisément en quoi les instructions ont aidé l'apprentissage, il faut rappeler que la tâche de reconnaissance des signaux qui suivait la pratique de la tâche indiquait que les sujets sans instructions perçoivent les signaux pendant la pratique de la tâche d'interception. La nature probabiliste des relations entre signaux et trajets introduit donc une difficulté supplémentaire dans l'apprentissage, qui rend nécessaire la communication des instructions verbales. Les probabilités peuvent augmenter la difficulté de cet apprentissage de deux manières : (1) la présence pour chaque signal de 2 relations avec des trajets augmentent la quantité de règles nécessaires pour décrire les régularités et donc la complexité algorithmique des régularités, et (2) le nombre d'apparition de chaque relations signaux-trajets est réduit en comparaison des régularités déterministes.

Le fait qu'une description verbale des régularités permette de passer outre ces difficultés peut être interprété à partir de deux domaines de recherche : le transfert analogique et l'apprentissage supervisé.

Premièrement, on peut considérer que l'aide véhiculée par les instructions permet la mise en relation de la situation à laquelle l'apprenti est confronté avec des situations qu'il connaît déjà, en ce sens l'utilisation des instructions s'apparenterait à un transfert analogique. Il semblerait d'ailleurs que le recours à un transfert analogique permette la résolution de

problèmes pour lesquels le sujet ne dispose que d'une représentation partielle des données et qui se caractérisent par une variabilité importante et des changements incessants (Gineste, 1997). Le transfert analogique dans ce cadre aiderait l'individu à l'extraction des régularités de l'environnement (Holland, Holyoak, Nisbett, & Thagard, 1986). Dominey (1997) mettait en relation cette théorie du transfert analogique et l'apprentissage supervisé en proposant que le transfert analogique permet une réduction de la complexité de l'exploration de la tâche quand l'apprentissage sans guidage ne permet pas la découverte des solutions pertinentes, "complexité" étant entendue ici au sens combinatoire (Sambrook & Whiten, 1997 ; Stern, 1994).

Deuxièmement, l'aide apportée par les instructions peut être interprétée comme l'apport d'une « information » à l'apprentissage autonome. Cette hypothèse est défendue dans l'étude de l'apprentissage supervisé, en proposant qu'une représentation externe « symbolique » peut s'avérer utile, quand les régularités présentes dans les relations entre les éléments issus de la perception des données de la situation sont statistiquement faibles (Clark & Thornton, 1997). Dans ce cas de figure, de simples fonctions statistiques analysant les fréquences des régularités ne permettraient pas l'extraction de celles-ci. Par ailleurs, l'exploration de la tâche peut s'exercer dans un espace de recherche très large, qui contient un grand nombre de solutions erronées. L'information extérieure symbolique peut alors jouer le rôle d'orientation de la recherche en isolant certains faits de la situation et en regroupant des traits qui ne sont pas reliés par une forte structure statistique. La mise en relation de traits de la situation par les instructions pourrait être considérée comme un filtre qui déterminerait les aspects saillants du nouveau domaine auquel l'apprenti est confronté.

Une problématique de recherche qui se dégage dans le prolongement de ce questionnement, est centrée sur la recherche des instructions verbales les plus courtes qui permettraient un apprentissage des régularités, quand l'apprentissage par la découverte est déficient. On peut citer à ce propos des instructions qui communiquent uniquement l'existence de régularités, ou qui orientent l'attention sur une portion de l'espace dans laquelle des événements pertinents pour l'action peuvent être perçus (Magill, 1998). Dans cette perspective les instructions communiquées laisseraient une part importante à une exploration de la situation par l'apprenti, ce qui pourrait permettre la mise en place de solutions comportementales qui ne sont pas induites exclusivement par les instructions.

L'absence d'apprentissage des relations signaux-trajets relevée dans les expériences 1 et 4 ne permet pas d'avancer des réponses précises quant à l'hypothèse d'une facilitation du transfert par les instructions. Les résultats pour les sujets qui ont reçu des instructions révèlent que la modification soudaine des relations entre indices et trajectoires des cibles perturbent l'adoption de comportements prédictifs dans l'interception. La mise en place dans le transfert de cette stratégie d'anticipation requiert autant de temps que lors de l'acquisition. D'autre part, l'expérience 2 indique qu'un transfert rapide de l'acquisition est réalisé sans instructions. L'hypothèse que la mise en relation des composants des régularités environnementales par une description verbale augmente, après une pratique répétée, la flexibilité comportementale face à un environnement changeant pourrait s'avérer fautive. Des sujets qui ont reçu des instructions de ce type semblent fortement perturbés quand l'environnement change, une conséquence des instructions pourrait être une augmentation de la spécificité de l'utilisation des régularités.

Comme il a été discuté au préalable, l'observation des échecs de l'apprentissage par la découverte permet de mettre en avant des hypothèses qui à ce jour ont reçu peu d'échos. A un autre niveau, il apparaît que les tâches employées le plus souvent pour l'étude des instructions ont été élaborées lors d'études préalables sur l'apprentissage sans rapport avec l'étude des instructions, de telle sorte que l'apprentissage soit possible sans instructions. Dans ce cadre expérimental, les instructions qui sont communiquées ont de fortes chances d'être redondantes vis à vis de ce qui peut être appris de façon autonome. Pour cette simple raison, des effets positifs des instructions peuvent être difficiles à discerner au niveau des variables qui mesurent l'atteinte du but. Par contre, une mesure qui permettrait de rendre compte de la façon dont la tâche est exécutée au cours du processus d'apprentissage, et non plus seulement de la performance, pourrait apporter des enseignements importants sur la nature des effets des instructions sur le.

10.2 Nature des effets des instructions sur l'apprentissage de régularités probabilistes

Les résultats des expériences 4 et 5 permettent de préciser les effets des instructions sur l'acquisition de relations probabilistes dans une tâche d'interception. Dans ces deux expériences, l'apprentissage avec des instructions est étudié de nouveau en comparaison d'un

apprentissage sans instructions. De plus, plusieurs paramètres de la tâche ont été modifiés entre l'expérience 4 et l'expérience 5 : (1) l'intervalle de temps entre l'affichage du signal et le changement final de direction des trajets des cibles est réduit dans l'expérience 5, et (2) le ratio entre la valeur du déplacement de la main et la valeur du déplacement de la raquette virtuelle est augmenté dans l'expérience 5. Les résultats obtenus montrent que les sujets qui reçoivent des instructions verbales sur les relations signaux-trajets apprennent ces régularités, et que l'apprentissage sans instructions est limité à un apprentissage non spécifique de l'interception. Cet apprentissage non spécifique aboutit à l'optimisation de la perception des informations spécifiées physiquement pour le contrôle du mouvement. Il n'y a pas d'utilisation des signaux discrets dans cet apprentissage, à l'exclusion d'un sujet dans l'expérience 4. Cependant, les résultats obtenus dans les deux expériences diffèrent. Dans l'expérience 4, l'exécution anticipée de l'action adoptée par les sujets instruits, comparativement l'exécution non anticipée des sujets non instruits, permet un gain de précision dans les essais comportant une relation de probabilité 0,75 et un gain au niveau du nombre d'actions réussies. Différemment, dans l'expérience 5, on constate une supériorité des performances des sujets non instruits vis-à-vis des performances des sujets instruits. L'évolution des performances des sujets instruits lors la transition entre le bloc 10 d'acquisition et le bloc test dénué de signaux visuels met en évidence que l'exécution anticipée dans le bloc 10 s'accompagne d'une réduction de la précision spatiale pour les essais comportant une relation de probabilité 0,75. Il faut ajouter enfin que la variance des erreurs spatiales absolues des sujets instruits dans l'expérience 5 est plus grande que dans l'expérience 4, en particulier pour les essais comportant une relation de probabilité 0,25. Ce dernier constat pourrait indiquer que l'augmentation des contraintes temporelles a contribué à l'abandon de l'utilisation des relations probabilistes par des sujets instruits. Nous avons abordé, dans la discussion de l'expérience 5, comment la modification des paramètres entre les expériences 4 et 5 peut expliquer que l'anticipation réduit la précision des interceptions. Les effets positifs des instructions dans cette tâche semblent relatifs à la pression temporelle imposée pour l'utilisation des indices. De plus, lors de l'expérience 5, dans les essais du bloc test dénués de signaux, les performances des sujets instruits sans signaux préparatoires sont du même niveau que les performances des sujets non instruits, ceci indique que l'apprentissage non spécifique de l'interception n'est pas dégradé par l'acquisition d'un contrôle anticipé. La dégradation des performances observée quand les signaux sont présents dans la situation proviendrait spécifiquement de l'utilisation des signaux préparatoires.

Une dégradation de la précision des interceptions dans un environnement probabiliste, par des instructions verbales, a déjà été rapportée dans la littérature (Green & Flowers, 1991). Les résultats du présent travail permettent-ils de comprendre les observations de Green & Flowers (1991) ? Une analyse des régularités élaborées par Green & Flowers (1991) permet de répondre par la négative à cette question. En effet les auteurs ont combiné la présence et l'absence d'un indice visuel unique et la présence et l'absence d'une déviation des trajets des cibles dans les 300 dernières ms. Différentes valeurs de probabilité étaient associées à ces combinaisons, ce qui conduisait à 4 types de trajets :

- la présence d'un indice était associée à une déviation dans 75 % des cas et avec une non déviation dans 25% des cas.
- l'absence d'un indice était associée à une non déviation dans 75% des cas et avec une déviation dans 25% des cas.

Les résultats indiquaient tout d'abord que les deux groupes étaient sensibles à la présence des indices. Ces résultats montraient de plus que quelque soit la condition d'instruction, les erreurs étaient plus faibles pour les essais comportant la relation de probabilité 0,75 [absence d'indice]-[trajets non déviés] que pour les essais correspondant à la relation de 0,25 [présence d'indice]-[trajets non déviés].

L'aspect qui n'a pas été discuté par les auteurs concerne la possibilité que les deux conditions d'acquisition se distinguent par le rapport entre la part de comportements anticipés et de comportements non anticipés qui caractérise l'acquisition de régularités partielles. Les résultats figurant page 293 de l'étude de Green & Flowers (1991) montrent que les sujets non instruits n'ont pas bénéficié de la présence d'un indice pour les trajets déviés, qui avaient pourtant une probabilité de 0,75. Les moyennes de précision spatiale des essais 0,75 [présence d'indice]-[trajet dévié], sont même très légèrement inférieures à celles des essais 0,25 [absence d'indice]-[trajet dévié]. Pour les sujets Instruits, les moyennes semblaient indiquer au contraire un bénéfice de la présence d'indice pour les essais déviés.

Ceci tend à montrer que les sujets non instruits n'ont acquis qu'une partie des relations présentes dans la situation. Dans l'étude de Green & Flowers (1991), cette acquisition sans instructions pourrait être résumée par les deux règles suivantes :

- 1) si aucun indice n'est affiché, alors on peut prédire que le trajet est non dévié
- 2) dans les autres cas, c'est à dire si un indice est affiché, aucune prédiction n'est utile.

Il est envisageable par contre que les sujets qui ont reçu des instructions ont essayé de prédire les deux types d'essais d'une probabilité de 0,75, c'est-à-dire les trajets déviés et non

déviés. Or, du fait de la forme des trajets, cette stratégie d'exécution anticipée de l'action pose pour son utilisateur des problèmes qui constituent un aspect important de l'étude de Green & Flowers (1991). Les résultats indiquaient de façon significative que les erreurs pour les essais déviés étaient plus importantes que pour les essais non déviés. Le fait que pour les 2 groupes, il apparaissait que les essais 0,75 "indice" étaient plus difficiles que les essais 0,25 "indice" peut alors être dû à une différence de difficulté dans l'interception des deux types de trajets, du fait que les essais 0,25 "indice" étaient non déviés et que les essais 0,75 "indice" étaient déviés. Cette combinaison particulière entre difficulté de l'interception due à la déviation et probabilité des relations signaux-trajets conduit à ce qu'aucun bénéfice ne pouvait être tiré de l'utilisation des relations 0,75 "indice". Il y avait donc une sorte de conflit entre les valeurs de probabilité des régularités et la difficulté de l'interception.

En résumé, la tâche construite par Green & Flowers (1991) comportait deux types de contraintes distinctes : les relations probabilistes et la nature des trajets. La combinaison de ces deux aspects a donné lieu à des régularités probabilistes qui faisaient que l'alternative la plus fréquente qui suit l'apparition de l'indice est plus difficile à exécuter que l'alternative la moins fréquente. L'effet négatif des instructions dans l'expérience de Green & Flowers (1991) pouvait donc provenir du fait qu'une partie des régularités décrites n'étaient d'aucune utilité pour améliorer les interceptions, et non pas de l'imposition d'une contraintes temporelles à l'utilisation des indices.

10.3 La relation entre le moment de communication des instructions et l'exploration de la tâche par l'apprenti

Il s'agissait dans l'expérience 5 de savoir si l'effet des instructions verbales est relatif au moment de leur communication à l'apprenti pendant la pratique de la tâche d'interception. Lors de cette expérience, des instructions qui décrivent les régularités probabilistes de la situation sont communiquées à un groupe de sujets au début de l'acquisition et à un second groupe à mi-parcours de l'acquisition. De plus, un groupe de sujets non instruits est ajouté au plan de l'expérience.

Les résultats indiquent que les instructions communiquées au début de l'apprentissage induisent l'utilisation des signaux pendant les 320 essais de la pratique, alors que les sujets qui reçoivent les instructions à mi-parcours utilisent les signaux puis abandonnent cette stratégie après 128 essais. Enfin, les sujets non instruits n'utilisent pas ces signaux durant toute la phase

de pratique. Les résultats de l'expérience 5 révèlent une relation dynamique entre le moment de communication des instructions verbales dans l'apprentissage et l'impact de ces instructions sur le processus d'apprentissage. La manipulation du moment de communication ne produit pas une modulation des effets des instructions mais agit sur un mode binaire : la persistance ou l'abandon de la stratégie induite par les instructions verbales. L'abandon de la stratégie induite quand la communication est placée à mi-parcours peut être considérée comme un refus de l'aide apportée par les instructions. Cette interprétation fait appel au cadre des actes de langage que nous avons adopté au départ de cette thèse pour définir les instructions. Nous avons souligné que l'option de refus, qui est donnée au récepteur dans l'acte de communication accompli par l'énonciation, est un aspect important des instructions (Virbel, 1999). Les résultats portent à croire que cette option de refus est relative au moment de communication des instructions dans le processus d'apprentissage, et que ce refus s'accompagne du choix d'un type d'exécution de la tâche issu d'un apprentissage par la découverte.

L'étude des relations dynamiques entre les effets des instructions et le moment de leur communication dans l'apprentissage, déjà initié par Mathews *et al.* (1989), se révèle comme un axe important de recherche sur les effets des instructions, et plus largement sur les relations entre langage et action. Cette problématique diffère de celle qui considère que les effets des instructions sont "figés", autrement dit que la communication a un effet donné sur l'action de l'apprenti qui n'évolue pas avec l'expérience de celui-ci dans la tâche. Nous pensons que certaines des caractéristiques de l'action évoluent avec la pratique de la tâche, et nous faisons l'hypothèse pour des recherches futures d'une évolution des relations entre les effets d'une description verbale de l'action ou de la situation et l'action elle-même. Cette perspective de recherche pourrait prendre en compte le fait que la description véhiculée par les instructions peut porter sur différents stades d'apprentissage qui se caractérisent par des comportements qualitativement distincts (Bernstein, 1967 ; Vereijken, 1991). Notons à ce sujet qu'une étude de l'apprentissage dans une tâche de poursuite de cible, contrôlée par les manipulations coordonnées d'une manette de jeu et de pédales, crédite l'hypothèse que l'aide apportée par les instructions dépend de leur justesse à ce que l'apprenti est capable de faire dans la tâche au moment de leur communication (Parker & Fleishman, 1961, cité par Shea & Paull, 1996).

10.4 La production des instructions

Dans le présent travail le processus de production des instructions n'est pas intégré dans l'étude expérimentale de leurs effets sur l'apprentissage. La question de la production des instructions dans le contexte de l'apprentissage est cependant parfois abordée dans le cadre de la revue de littérature. Or, ce point nous paraît important pour prolonger l'étude des instructions. Dans la littérature sur l'apprentissage implicite, plusieurs auteurs ont avancé des propositions générales sur le rôle des instructions dans l'apprentissage de régularités environnementales (Mathews *et al.*, 1989 ; Stanley *et al.*, 1989 ; Reber, 1989). Leurs propositions étaient en particulier que les instructions sont efficaces si elles se "coordonnent" à ce que l'apprenti est capable d'apprendre dans la tâche considérée (Reber, 1989). Dans le cas des grammaires artificielles cette idée est particulièrement séduisante car on peut opposer dans cette situation la description des régularités présentes dans les stimuli au moyen d'un système de règles syntaxiques et l'extraction d'une partie uniquement de ces régularités par des apprentis non instruits. Afin de s'assurer que les instructions sont effectivement "coordonnées" aux apprentis, une solution consiste à faire produire ces instructions par d'autres apprentis (Marescaux, 1997 ; Mathews *et al.*, 1989 ; Stanley, *et al.*, 1989). Toujours dans le cas de grammaires artificielles, Mathews *et al.* (1989) ont relevé que les instructions ainsi produites diffèrent des descriptions verbales d'autres sujets visant à décrire les stimuli le plus précisément possible. Ces instructions verbales insistent sur des aspects particuliers du matériel : le début et la fin des séries de lettres par exemple. On notera donc que, pour l'apprentissage de ce type de régularités, la segmentation du matériel véhiculée par les instructions doit s'accorder à la segmentation qui caractérise l'apprentissage de ces régularités par des apprentis.

Concernant le présent travail, on peut tout d'abord remarquer que d'autres instructions que celles utilisées sont possibles, en particulier dans le cas des régularités probabilistes. Par exemple, la description des relations probabilistes est basée sur une conception subjective des probabilités alors qu'une description en termes « fréquentiste » est envisageable qui porterait alors sur la structure des blocs d'essais (Cosmides & Tooby, 1996). Une autre piste serait d'étudier dans la même tâche les effets des instructions qui décrivent le mouvement d'interception. En effet, une partie des sujets non instruits lors de l'expérience 5 décrivaient leur façon d'exécuter la tâche en insistant sur la « douceur » requise pour les déplacements de la main pour guider la raquette vers la cible, ou encore sur la nécessité de conserver une vitesse constante dans la réalisation de ces mouvements.

A un autre niveau, cette perspective de recherche sur la relation entre l'efficacité des instructions et le processus de leur production peut être poursuivie pour des tâches qui ne requièrent pas l'acquisition de régularités présentes entre des éléments discrets de la situation, mais l'apprentissage de nouveaux mouvements ou de nouvelles coordinations motrices. Une des questions initiales porte sur la nature de la production des instructions dans ces tâches. Est-il justifié de concevoir dans ce cas la production des instructions en termes de type de segmentation de la situation décrite ?

Dans l'étude expérimentale des effets des instructions, celles-ci sont produites le plus souvent par les expérimentateurs à partir d'une description du mouvement publiée dans des revues scientifiques. Dans ce cadre particuliers, à notre connaissance, le processus de production des instructions n'a pas encore fait l'objet de recherches. Ce cas de figure s'apparente à une traduction entre deux énoncés. Si l'énoncé initial (noté A) est une description du mouvement produite dans le contexte de la recherche, le second énoncé (noté B) est un discours procédural produit dans le but d'aider un novice à acquérir une habileté. Le cadre au sein duquel est effectuée la notation A offre la possibilité de réaliser des démonstrations et des inférences sur la base de lois générales et d'axiomes initiaux. L'intérêt de ces notations A pour la production de consignes est de dépasser les limites d'une description du mouvement basée uniquement sur la perception écologique, les catégories lexico-sémantiques et les modes d'inférences particuliers au langage ordinaire ou au langage technique, relevant parfois d'une physique naïve (Krist, Fieberg, & Wilkening, 1993).

Le passage de A à B constitue une traduction de notations non exclusivement linguistiques (A) en des notations verbales (B). Les notations A sont en effet constituées par des graphiques, des équations, des variables physiques, et des descriptions verbales. Dans ces descriptions du type A sont utilisées des variables comme les temps de réaction, les temps de mouvement, la durée relative des parties du mouvement, mais aussi des variables du mouvement comme la vitesse, l'amplitude, la direction, la fréquence etc... Fréquemment ces descriptions soulignent la propriété des mouvements d'être des systèmes comportant plusieurs composants en interaction : la simplification de la description des positions de deux membres reliés par une articulation par le recours à l'angle formé par les deux segments est une illustration de cette propriété, ou encore la description des mouvements de 2 effecteurs par la phase relative de ces mouvements. D'autres types de descriptions s'intéressent à la cinématique et ou à la dynamique du mouvement (Flash & Hogan, 1985 ; Kawato, 1996), et utilisent en particulier des équations différentielles reliant les dérivées première et seconde en fonction du temps de la position (ou des angles formés par deux segments corporels) d'un ou

plusieurs points des effecteurs (Zatsiorski, 1997). Ajoutons que ce type d'analyse du mouvement s'appuie parfois sur des modèles mécaniques d'oscillateurs (Haken, Kelso, & Buz, 1985), de ressorts (Polit & Bizzi, 1978), ou de pendule (Vereijken *et al.*, 1997).

Les instructions étudiées par Wulf & Weigelt (1997), présentées dans le chapitre III de cette thèse, constituent la traduction d'une description de type A réalisée par Vereijken (1991). Les instructions de Wulf & Weigelt (1997) étaient les suivantes : "exerce une poussée quand la plate-forme dépasse le centre des rails". Dans la notation A qui est à l'origine de ces instructions la variable qui est apparue pertinente pour décrire l'apprentissage était le décalage des positions en fonction du temps entre les déplacements de la plate-forme et les déplacements du centre des masses du corps du sujet, variable dénommée phase relative par Vereijken (1991). Les données de l'auteur ont montré que l'évolution de cette variable était corrélée avec l'évolution des variables de la performance (amplitude et fréquence). La coordination qui apparaît avec la pratique de la tâche semble correspondre à une stratégie qui consiste à exercer une force sur la plate-forme après que celle-ci a dépassé le centre des rails. Cette notation A comprenait les détails suivants :

- évolution dans le temps de plusieurs variables du mouvement (position, vitesse, et accélération)
- variabilité comportementale entre essais pour un même individu
- diversité des solutions comportementales entre individus pour exercer une force sur la plate-forme (rotation du centre des masses autour du point de support sur la plate-forme ou flexion extension des jambes)
- stades d'apprentissage qui se caractérisent par des comportements qualitativement distincts

On constate que dans la traduction n'a été conservé que le repérage d'une action (poussée sur la plate-forme) par rapport à l'environnement (milieu des rails). Une sorte de complément provient de repères spatiaux définis afin que l'apprenti les perçoive dans l'environnement. Ce qui a été éliminé dans cette traduction concerne essentiellement les relations entre plusieurs paramètres du mouvement, la diversité des solutions possibles et la variabilité du mouvement. La traduction a en quelque sorte « figé » le mouvement en exhibant seulement des invariants et des positions déterminées à des instants particuliers. Afin de compléter ce travail, une analyse a porté sur les instructions produites par Hodges & Lee (1999), instructions dont les effets sont détaillées dans la revue de littérature (Chapitre II). Les

opérations réalisées au cours de la production d'instructions sur le mouvement sont les suivantes :

- introduction de la synonymie (forcer, pousser, agir sur, exercer une force)
- description de la coordination habile mais pas de son acquisition
- définition de repères spatio-temporels saillants sur le plan perceptif (positions extrêmes et centrales, points de rebroussement, début et fin)
- suppression d'une phase d'exploration de la tâche ou d'une évolution dans le temps du comportement
- suppression des différentes solutions comportementales pour n'en conserver une seule
- suppression des différences inter- individuelles
- suppression de la variabilité comportementale entre les essais pour un même individu
- suppression des relations entre des paramètres du mouvement
- réduction du continu au discret par un découpage en positions isolées

Le résultat de cette analyse s'accorde aux travaux sur la catégorisation de processus et d'actions qui mettent en évidence que des processus dynamiques sont représentés préférentiellement par un état isolé extrait de l'ensemble du processus, lequel représente le prototype de ce processus ou de l'action (Cordier, 1993). De plus, il semble que les exemples relevés constituent des illustrations des opérations de « suppression » et d' « augmentation » proposées par Goodman (1990) pour décrire la traduction entre deux systèmes symboliques. Ainsi, ces traductions se situaient sur un continuum perte- conservation d'informations contenues dans la notation A. Cette étude de la production d'instructions verbales pourrait motiver l'étude de la description verbale du mouvement, qui semble un préalable aux recherches futures sur les effets des instructions pour l'apprentissage d'habiletés.

10.5 Perspectives théoriques pour l'étude des relations langage-action

Dans l'étude de l'apprentissage on considère souvent que les instructions verbales induisent un type d'apprentissage « analytique » par opposition à un apprentissage global ou « holiste » (Gentile, 1972 ; Vereijken & Whiting, 1990 ; Hesketh, 1997). Cette hypothèse est retrouvée notamment dans l'opposition entre apprentissage intentionnel, qui serait analytique, et apprentissage incident, qui serait « holiste » (Ward & Becker, 1992). La distinction entre un apprentissage sélectif et un apprentissage non sélectif proposée par Hayes & Broadbent

(1988) semble procéder d'un raisonnement identique, bien que ne reposant pas sur la comparaison entre apprentissage par instructions et sans instructions. Il nous semble que cette hypothèse est mal fondée. Une des difficultés de l'utilisation des instructions verbales provient de la nécessaire linéarité du discours (Denis & Briffaut, 1997 ; Levelt, 1989). Cette linéarité du discours peut poser de sérieux problèmes de mémorisation au destinataire du fait que la description développée de certaines actions entraîne un découpage en de nombreux éléments, qui de plus co-varient dans le temps et impose l'emploi de connections temporelles et spatiales. Mais il faut à ce sujet préciser que si les énoncés sont composés d'unités discrètes (mots), la référence de ces unités au monde dans le cas de la communication n'est pas une relation du type un pour un avec un attribut ou un trait isolé de la situation. Les étiquettes lexicales ne semblent pas « analytiques », un mot isolé peut référer à une situation perçue par le producteur qui est composée de nombreux attributs, qui peuvent être en relation dynamique les uns avec les autres. Dans l'étude de la formation des concepts par exemple, on envisage que la constitution de classes repose sur la prise en compte d'attributs multiples, par exemple dans la catégorisation d'objets manufacturés (Dubois, 1991 ; Rosch & Lloyd, 1978).

La notation de la danse et la partition pour la musique (Goodman, 1990) ou encore la notation des mouvements animaliers par les éthologues (Golany, 1992), exemplifient les propriétés évoquées ci-dessus. Goodman (1990) soulignait dans une étude des « systèmes symboliques » que dans un premier temps la notation de la danse a été jugée impossible du fait que les expressions subtiles et variées des danseurs et les mouvements tridimensionnels d'un ou de plusieurs organismes hautement complexes, sont beaucoup trop compliqués pour qu'on les capture au moyen d'une notation. Goodman précisait que cette position provient d'une confusion sur la fonction de la notation et que « la notation ne capture pas toute la subtilité et la complexité d'une exécution (...), les stipulations ne portent que sur certains aspects et seulement certains à l'intérieur de certaines limites » (Goodman, 1990, p.250-251). Les notations n'ont pas besoin d'être exhaustives pour être utiles. Pour illustrer ce point rappelons qu'une description très implicite peut aisément être traduite en actions, les étiquettes « fragile » ou encore « haut » et « bas » (Virbel, 1998), affichées sur une caisse, permettent des actions pertinentes. Un aspect qu'il ne faut pas perdre de vue dans ce contexte est que ces énoncés font partie du langage naturel en usage, leur interprétation comportementale est déjà disponible pour accomplir l'action complète, ce qui nous conduit à évoquer la question de l'établissement d'une référence commune entre locuteurs.

Les effets positifs des instructions requièrent l'établissement d'une co-référence entre acteurs de la communication à travers l'expérience, qui permet d'attacher des mots à des objets du monde, lesquels dans notre cas pourraient être des mouvements ou la perception de l'environnement (Heurley, 1994 ; Markman & Makin, 1998). Cet établissement de la référence est déterminé par les aspects pragmatiques et la fonction de communication du langage (Markman & Makin, 1998). Ce point de vue permet de montrer l'établissement d'une référence aux énoncés, autrement dit d'une sémantique lexicale, et montre comment les activités langagières sont issues d'une expérience pratique. Les descriptions des mouvements par des enseignants d'éducation physique expérimentés sont plus développées que les descriptions produites par des enseignants moins expérimentés, et ceci tant au niveau du nombre total de mots que du nombre de connections temporelles entre les phases du mouvement décrit présents dans le discours (Block & Beckett, 1990).

La nécessité pour le discours procédural de déterminer un cadre de référence lexical est illustrée par la présence de nombreuses définitions dans les corpus de documents écrits du type instructions, qui posent les relations spécifiques entre mots et monde, qui précisent ce que dénotent les termes employés (Pascual & Pery Woodley, 1997).

L'établissement de la relation de référence entre action et instructions a fait l'objet de recherches récentes. Glenberg & Robertson (1999) ont rapporté des données en faveur de l'idée que l'interprétation des instructions consiste en une indexation de la signification de l'instruction au mouvement particulier accompli sur le monde physique. Selon la théorie de l'indexation, l'exécution des instructions requiert deux étapes, un mouvement est tout d'abord spécifié par exemple par un verbe d'action, comme dans la phrase [tourner le bouton sur le poste radio], puis l'interprétation relativement générale de cette instruction est spécifiée par l'interaction avec l'objet physique. À la suite de cette action, la description de l'action est dite indexée au mouvement spécifique requis par l'objet. Dans les essais suivants, cette instruction pour l'objet donné spécifie de façon précise le mouvement à réaliser.

L'exemple de l'usage des instructions illustre une caractéristique du langage beaucoup plus générale, c'est-à-dire l'établissement du fondement de la sémantique en dehors de relations uniquement arbitraires entre symboles primitifs préexistants. Cette approche permet de préciser une sémantique lexicale qui intègre les données issues de l'interaction du sujet avec le monde physique au moyen du mouvement. Cette vision de la sémantique permet de concevoir une mise en relation entre signification et exécution de mouvement ou perception et ne requiert pas de postuler une étape de translation entre ces deux domaines.

Références bibliographiques

- Abdi, H. (1987). Introduction au traitement statistique des données expérimentales. Grenoble: P.U.G.
- Abernethy, B. (1987a). Anticipation in sport: A review. *Physical Education Review*, 10, 5-16.
- Abernethy, B. (1987b). Selective attention in fast ball sports I: General principles. *The Australian Journal of Science and Medecine In Sport*, 20, 3-6.
- Abernethy, B. (1993). Searching for the minimal essential information for skilled perception and performance. *Psychological Research*, 55, 131-138.
- Abrams, M. (1987). Implicit learning in the psychiatrically impaired. Unpublished doctoral dissertation, City University of New York, New York.
- Adam, J.M. (1992). Les textes : types et propotypes. Paris: Nathan.
- Adams, J.A. (1971). A closed loop theory for motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150.
- Alain, C., & Proteau, L. (1978). Etude des variables relatives au traitement de l'information en sports de raquette. *Canadian journal of Applied Sport Sciences*, 3, 27-35.
- Allard, F., Deakin, J., Parker, S., & Rodgers, W. (1993). Declarative knowledge in skilled motor performance: Byproduct or constituent? In J.L. Stakes & F. Allard (Eds.), *Cognitive Issues in Motor Expertise* (pp. 95-107). Amsterdam: Elsevier.
- Altmann, G.T.M., Dienes, Z., & Goode, A. (1995). Modality independence of implicitly learned grammatical knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 899-912.
- Anderson, J.R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, 89, 369-403.

- Anderson, J.R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94, 192-210.
- Anii, A., & Kudo, K. (1997). Effects of instruction and practice on the length-reproduction task using the Müller- Lyer figure. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 819-825.
- Annet, J. (1986). On knowing how to do things. In H. Heuer & G. Fromm (Eds.), *Generation of action patterns* (pp. 187-200). Berlin: Springer.
- Annet, J. (1994). The learning of motor skills: Sport science and ergonomics perspectives. *Ergonomics*, 37, 5-16.
- Anzai, Y., & Simon, H.A. (1979). The theory of learning by doing. *Psychological Review*, 86, 124-140.
- Asch, S.E. (1951). Effects of group pressure upon the modification and distortion of judgements. In H. Guetzkow (Ed.), *Group leadership and men*. Pittsburg, PA : Carnegie Press.
- Aschehoug, F. (1992). L'apprentissage par la découverte de connaissances déclaratives. *L'Année Psychologique*, 92, 421-442.
- Austin, J.L. (1970). *Quand dire c'est faire*. Paris: Seuil.
- Baddeley, A.D. (1966). The capacity for generating information by randomisation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18, 119-129.
- Bahill, A.T., & Karnavas, W.J. (1993). The perceptual illusion of baseball's rising fastball and breaking curveball. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 3-14.
- Bahill, A.T., & Laritz, T. (1984). Why can't batters keep their eyes on the ball? *American Scientist*, 72, 249-253.
- Baudet, S., & Cordier, F. (1992). Representation of complex actions: A developmental study. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 12, 141-171.
- Behrman, A.L., Teitelbaum, P., & Cauraugh, J.H. (1998). Verbal instructional sets to normalise the temporal and spatial gait variables in parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 65, 580-582.
- Bennett, K., Thomas, J., Jervis, C., & Castiello, U. (1998). Upper limb movement differentiation according to taxonomic semantic category. *Neuroreport*, 9, 255-262.
- Bernstein, N.A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Berry, D.C., & Broadbent, D.E. (1984). On the relationships between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36, 209-231.
- Berry, D.C., & Broadbent, D.E. (1987). The combination of explicit and implicit learning processes in task control. *Psychological Research*, 49, 7-15.
- Berry, D.C., & Broadbent, D.E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79, 251-272.

- Berry, G.A., Prather, D.C., & Bermudez, J.M. (1973). Effects of verbalization on trial-and-error and prompted learning of a perceptual skill. In *Proceeding of the 81st Annual Convention of the American Psychological Association*.
- Bingham, G.P., Schmidt, R.C., & Zaal, F.T.J.M. (1999). Visual perception of the relative phasing of human limb movements. *Perception and Psychophysics*, *61*, 246-258.
- Block, K.K., & Beckett, K.D. (1990). Verbal descriptions of skill by specialists and nonspecialists. *Journal of Teaching in Physical Education*, *10*, 21-37.
- Bootsma, R.J., Fayt, V., Zaal, F.T.J.M., & Laurent, M. (1997). On the information-based regulation of movement: What Wann (1996) may want to consider. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 1282-1289.
- Brainbridge, L. (1999). Verbal reports as evidence of the process operator's knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, *51*, 213-238.
- Brenner, E., Smeets, J.B.J., & de Lussanet, M.H.E. (1998). *Hitting moving targets*. *Experimental Brain Research*, *122*, 467-474.
- Bright, J.E.H., & Freedman, O. (1998). Differences between implicit and explicit acquisition of a complex motor skill under pressure: An examination of some evidence. *British Journal of Psychology*, *98*, 249-263.
- Broadbent, D.E. (1977). Levels, hierarchies, and the locus of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *29*, 181-201.
- Broer, M.R. (1958). Effectiveness of a general basic skills curriculum for junior high school girls. *Research Quarterly*, *29*, 379-388.
- Brooks, L.R. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and Categorization* (pp. 169-211). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Brooks, V., Hilperath, F., Brooks, M., Ross, H., & Freund, H. (1995). Learning "what" and "how" in a human motor task. *Learning and Memory*, *2*, 225-242.
- Buchner, A., Funke, J., & Berry, D.C. (1995). Negative correlations between performance and verbalizable knowledge: Indicators for implicit learning in process control tasks? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *48A*, 166-187.
- Buchner, A., Steffens, M.C., & Rothkegel, R. (1998). The role of fragmentary knowledge in sequence learning task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *51A*, 251-281.
- Carlson, K.A., & Flowers, J.H. (1996). Intentional versus unintentional use of contingencies between perceptual events. *Perception and Psychophysics*, *58*, 460-470.
- Challis, J.H. (1999). A procedure for the automatic determination of filter cutoff frequency for the processing of biomechanical data. *Journal of Applied Biomechanics*, *15*, 303-317.

- Chamberlin, C., & Lee, T. (1993). Arranging practice conditions and designing instruction. In R.N. Singer, M. Murphey, & L.K. Tennant (Eds.), *Handbook of research on sport psychology* (pp. 213-241). New York: Macmillan Publishing Company.
- Chomsky, N. (1959). On certain formal properties of grammars. *Information and Control*, 2, 137-167.
- Clark, A., & Thornton, C. (1997). Trading spaces: Computation, representation, and the limits of uninformed learning. *Behavioral and Brain Science*, 20, 57-90.
- Cleeremans, A., & Jiménez, L. (1998). Implicit sequence learning. The truth is in the details. In M.A. Stadler & P.A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp. 323-364). Thousands Oaks: Sage Publications.
- Cohen, A., & Curran, T. (1993). On tasks, knowledge, correlations, and dissociations: Comment on Perruchet and Amorim (1992). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1431-1437.
- Cohen, G. (2000). Hierarchical models in cognition: do they have psychological reality? *European Journal of Cognitive Psychology*, 12, 1-36.
- Cohen, N.J., & Squire, L.R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analysing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, 210, 207-210.
- Colville, F.M. (1957). The learning of motor skills as influenced by knowledge of mechanical principles. *The journal of Educational Psychology*, 48, 321-327.
- Cordier, F. (1993). Les représentations cognitives privilégiées. Typicalité et niveaux de base. Lille : Presses Universitaires de Lille.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1996). Are human good statistician after all? Rethinking some conclusions from the litterature on judgment under uncertainty. *Cognition*, 58, 1-73.
- Craig, R.C. (1953). The transfer value of guided learning. New York: Columbia University.
- Crocker, P.R.E., & Dickinson, J. (1984). Incidental psychomotor learning: The effects of number of movements, practice, and rehearsal. *Journal of Motor Behavior*, 16, 61-75.
- Crocker, P.R.E., & Wilberg, R.B. (1985). The absence of orienting task specificity in psychomotor learning. *Perceptual and motor skills*, 61, 399-405.
- Curran, T., & Keele, S.W. (1993). Attentional and non attentional forms of sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 189-202.
- Danks, J.H., & Gans, D.L. (1975). Acquisition and utilisation of a rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1, 201-208.
- Davidson, D. (1980). Essays on action and events. Oxford: University Press.
- Davies, D.R. (1945). The effect of tuition upon the process of learning a complex motor skill. *The Journal of Educational Psychology*, 36, 352-365.

- Delignières, D., Nourrit, D., Deschamps, T., Lauriot, B., & Caillou, N. (1999). Effect of practice and task constraints on stiffness and frictions in biological movements. *Human Movement Science*, *18*, 769-793.
- den Brinker, B.P.L.M., Stabler, J., Whiting, H.T.A., & Wieringen, P.C.W. (1986). The effect of manipulating knowledge of results on the learning of slalom-type ski movements. *Ergonomics*, *29*, 31-40.
- Denhière, G., & Baudet, S. (1992). Lecture, compréhension de texte et science cognitive. Paris: P.U.F.
- Denis, M., & Briffault, X. (1997). Les aides verbales à la navigation. In M. Denis (Ed.), *Langage et cognition spatiale* (pp. 127-154). Paris: Masson.
- Desclés, J.P., Flageul, V., Kekenbosch, C., Meunier, J.-M., & Richard, J.F. (1998). Sémantique cognitive de l'action : 1. Contexte théorique. *Langages*, *132*, 28-48.
- Dickinson, J. (1977). Incidental motor learning. *Journal of Motor Behavior*, *9*, 135-138.
- Dickinson, J. (1978). Retention of intentional and incidental learning. *Research Quarterly*, *49*, 437-441.
- Dienes, Z., & Altman, G. (1997). Transfert of implicit knowledge accross domains : How implicit and how abstract ? In D. Berry (Ed.), *How implicit is implicit learning ?* (pp. 107-123). Oxford: Oxford University press.
- Dienes, Z., Broadbent, D.E., & Berry, D.C. (1991). Implicit and explicit knowledge bases in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*, 875-887.
- Dillon, J.M., Crassini, B., & Abernethy, B. (1989). Stimulus uncertainty and response time in a simulated racquet-sport task. *Journal of Human Movement Studies*, *17*, 115-132.
- Dixon, P. (1982). Plans and written directions for complex tasks. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *21*, 70-84.
- Dixon, P. (1987a). The processing of organizational and components steps in written directions. *Journal of Memory and Language*, *26*, 24-35.
- Dixon, P. (1987b). The structure of mental plan for following directions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 18-26.
- Dominey, P., Lelekov, T., Ventre-Dominey, J., & Jeannerod, M. (1998). Dissociable processing for learning the surface structure and abstract structure of sensorimotor sequences. *Journal of Cognitive neurosciences*, *10*, 734-751.
- Dominey, P.F. (1997). Reducing problem complexity by analogical transfert. *Behavioral and Brain Science*, *20*, 71-72.
- Dubois, D. (1991). Sémantique et cognition, catégories, prototypes, typicalité. Paris: C.N.R.S.
- Dubrowsky, A., Lam, J., & Carnahan, H. (2000). Target velocity effects on manual interception kinematics. *Acta Psychologica*, *104*, 103-118.

- Dulany, D.E., Carlson, R.C., & Dewey, G.I. (1984). A case of syntactical learning and judgement: How conscious and how abstract ? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *113*, 541-555.
- Ericsson, K.A., & Simon, H.A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, *87*, 215-251.
- Ervin, S.M. (1960). Transfer effects of learning a verbal generalization. *Child Development*, *31*, 537-554.
- Evrard, F., & Virbel, J. (1989). An unified frame of physical and speech acts. In *Proceedings of The PROMETHEUS Workshop*, 30-31 Octobre, Stockholm.
- Evrard, F., & Virbel, J. (1990). Coopération entre un interface en langage naturel et un planificateur. *Communication au Colloque Convention IA*, 15-18 Janvier, Paris.
- Fallshmore, M., & Schooler, J.W. (1995). Verbal vulnerability of perceptual expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*, 1608-1623.
- Fayol, M. (1994). From declarative and procedural knowledge to the management of declarative and procedural knowledge. *European Journal of Psychology of Education*, *9*, 179-190.
- Fioretti, S. (1996). Signal processing in movement analysis (a state-space approach). *Human Movement Science*, *15*, 389-410.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, *67*, 381-391.
- Fitts, P.M. (1964). Perceptual-motor skill learning. In A. W. Melton (Ed.), *Categories of human learning* (pp. 243-285). New York: Academic Press.
- Flash, T., & Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model. *Journal of Neurosciences*, *5*, 1688-1703.
- Franks, I.M., Sanderson, D.J., & van Donkelaar, P. (1990). A comparison of directly recorded and derived acceleration data in movement control research. *Human Movement Science*, *9*, 573-582.
- Frensch, P.A. (1998). One concept, multiple meanings: On how to define the concept of implicit learning. In M.A. Stadler & P.A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp. 47-104). Thousands Oaks: Sage Publications.
- Frensch, P.A., & Miner, C.S. (1994). Effects of presentation rate and individual differences in short-term memory capacity on an indirect measure of serial learning. *Memory and Cognition*, *22*, 95-110.
- Ganier, F. (1999). Le traitement cognitif : déterminants de la conception de documents procéduraux. Thèse de doctorat non publiée. Université de Bourgogne : Dijon.
- Ganier, F., Gombert, J.-E., & Fayol, M. (2000). Effet du format de présentation des instructions sur l'apprentissage de procédures à l'aide de documents techniques. *Le Travail Humain*, *2*, 121-152.

- Gentile, A.M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest, 17*, 3-23.
- Gentile, A.M. (1998). Implicit and explicit processes during acquisition of functional skills. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy, 5*, 7-16.
- Gentilucci, M., Benuzzi, F., Bertolani, L., Daprati, E., & Gangitano, M. (2000). Language and motor control. *Experimental Brain Research, 133*, 468-490.
- Gentner, D.R. (1987). Timing of skilled performance: tests of the proportional duration model. *Psychological Review, 94*, 255-276.
- George, C. (1988). Interactions entre les connaissances déclaratives et procédurales. In P. Perruchet (Ed.), *Les automatismes cognitifs* (pp. 103-137). Liège: Mardaga.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual system*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology, 12*, 306-355.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1983). Schema induction and analogical transfert. *Cognitive Psychology, 15*, 1-38.
- Gick, M.L., & Mc Garry, J.J. (1992). Learning from mistakes: Inducing analogous solution failures to a source problem produces later successes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 18*, 623-639.
- Gineste, M.-D. (1997). *Analogie et cognition. Etude expérimentale et simulation informatique*. Paris: P.U.F.
- Girardin, Y., & Proteau, L. (1978). Task analysis in racquet ball. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences, 3*, 237-239.
- Glenberg, A.M., & Robertson, D.A. (1999). Indexical understanding of instructions. *Discourse Processes, 28*, 1-26.
- Glencross, D. (1993). Human skills: Ideas, concepts and models. In R.N. Singer, M. Murphey, & L.K. Tennant (Eds.), *Handbook of research on sport psychology* (pp. 242-253). New York: Macmillan Publishing Company.
- Golani, I. (1992). A mobility gradient in the organization of vertebrate movement: The perception of movement through symbolic language. *Behavioral and Brain Sciences, 15*, 249-308.
- Goodman, N. (1990). *Langages de l'art*. Nîmes: Jacqueline Chambon.
- Goschke, T. (1998). Implicit learning of perceptual and motor sequences: Evidence for independent learning systems. In M.A. Stadler & P.A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp. 401-444). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Gottlieb, G.L., Corcos, D.M., & Agarwal, G.C. (1989). Strategies for the control of voluntary movements with one mechanical degree of freedom. *Behavioral and Brain Sciences, 12*, 189-250.

- Goulet, C., Bard, C., & Fleury, M. (1989). Expertise differences in preparing to return a tennis serve: A visual information processing approach. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 11*, 382-398.
- Graesser, A.C. (1978). How to catch a fish: The memory and representation of common procedures. *Discourse Processes, 1*, 72-89.
- Green, R.E.A., & Shanks, D.R. (1993). On the existence of independent explicit and implicit systems: An examination of some evidence. *Memory and Cognition, 21*, 304-317.
- Green, T.D., & Flowers, J.H. (1991). Implicit versus explicit learning processes in a probabilistic, continuous fine-motor catching task. *Journal of Motor Behavior, 23*, 293-300.
- Greene, R.L. (1984). Incidental learning of event frequency. *Memory and Cognition, 12*, 90-95.
- Guiard, Y. (1993). On Fitt's and Hooke's laws: Simple harmonic movement in upper-limb cyclical aiming. *Acta Psychologica, 82*, 139-159.
- Hahn, U., Chater, N. (1998). Similarity and rules: Distinct ? Exhaustive ? Empirically distinguishable ? *Cognition, 65*, 197-230.
- Haider, H., & Frensch, P.A. (1996). The role of information reduction in skill acquisition. *Cognitive Psychology, 30*, 304-337.
- Haider, H., & Frensch, P.A. (1999). Information reduction during skill acquisition: The influence of task instructions. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 5*, 1-23.
- Haken, H., Kelso, J.A.S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transition in human hands movements. *Biological Cybernetics, 51*, 347-356.
- Hanrahan, C., Tétréau, B., & Sarrazin, C. (1995). Use of imagery while performing dance movement. *International Journal of Sport Psychology, 26*, 413-430.
- Hardy, L., Mullen, R., & Jones, G. (1996). Knowledge and conscious control of motor actions under stress. *British Journal of Psychology, 87*, 621-636.
- Hasher, L., Zacks, R.T., Karen, K.C., & Sanft, H. (1987). Truly incidental encoding of frequency information. *American Journal of Psychology, 100*, 69-89.
- Hasher, L. & Zacks, R.T. (1979). Automatic and effortfull processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 108*, 356-388.
- Hayes, N.A., & Broadbent, D.E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition, 28*, 249-276.
- Hendrickson, G., Schroeder, W.H. (1941). Transfer of training in learning to hit a submerged target. *The Journal of Educational Psychology, 32*, 205-213.
- Hesketh, B. (1997). Dilemmas in training for transfer and retention. *Applied Psychology: An International Review, 46*, 317-386.
- Heurley, L. (1994). Traitements de textes procéduraux : Etude de psycholinguistique cognitive des processus de production et de compréhension chez des adultes non experts. Thèse de doctorat non publiée. Université de Bourgogne: Dijon.

- Heurley, L, Garcia-Debanç, C., & Veyrac, H. (1998). Textes procéduraux/textes à consignes : Problèmes de définition. *Communication à l'Atelier Texte et Communication*, 21 et 22 Septembre, Toulouse.
- Hick, W.E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Ho, L., & Shea, J. (1979). Orienting task specificity in incidental motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 11, 135-140.
- Hodges, N.J., & Lee, T.D. (1999). The role of augmented information prior to learning a bimanual visual-motor coordination task: Do instructions of the movement pattern facilitate learning relative to discovery learning ? *British Journal of Psychology*, 90, 389-403.
- Hodges, N.J., & Franks, I.M. (in press). Learning a coordination skill: Interactive effects of instructions and feedback. *Canadian Journal of Experimental Psychology*.
- Hoencamp, H. (1978). Perceptual cues that determine the labeling of human gait. *Journal of human movement studies*, 4, 59-69.
- Holding, D.H. (1965). Principles of training. London: Pergamon Press.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R. E., & Thagard, P.R. (1986). Induction: Processes of inference learning and discovery. Boston, MA: MIT Press.
- Hommel, B. (1993). Inverting the Simon effect by intention: Determinants of direction and extent of effects of irrelevant spatial information. *Psychological Research*, 55, 270-279.
- Hommel, B. (1996). Towards an action-concept model of stimulus-response compatibility. In B. Hommel & W. Prinz (Eds.), *Theoretical Issues in Stimulus Reponse compatibility* (pp. 281-320). Amsterdam: Elsevier Science.
- Howard, J.H., & Ballas, J.A. (1980). Syntactic and semantic factors in the classification of nonspeech transient patterns. *Perception and Psychophysics*, 28, 431-439.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 45, 188-196.
- Jackendoff, R. (1996). How language helps us think. *Pragmatics and Cognition*, 4, 1-34.
- Jaric, S., & Latash, M.L. (1999). Learning a pointing task with a kinematically redundant limb: Emerging synergies and patterns of final position variability. *Human Movement Science*, 18, 819-838.
- Jervis, C., Bennett, K., Thomas, J., Lim, S., & Castiello, U. (1999). Semantic category interference effects upon the reach-to-grasp movement. *Neuropsychologica*, 37, 857-868.
- Jiménez, L. (1997). Implicit learning: Conceptual and methodological issues. *Psychologica Belgica*, 37, 9-28.
- Jiménez, L., & Méndez, C. (1999). Which attention is needed for implicit sequence learning ? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 236-259.

- Jiménez, I., Méndez, C., & Cleeremans, A. (1996). Comparing direct and indirect measures of sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 948-969.
- Juaire, P., & Pargman, D. (1991). Pictures versus verbal instructions to assist the learning of a gross motor task. *Journal of Human Movement Studies*, 20, 189-200.
- Judd, C.H. (1908). The relation of special training to general intelligence. *Educational Review*, 36, 28-42.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice: Englewood Cliffs.
- Kawato, M. (1996). Trajectory formation in arm movements: Minimization principles and procedures. In H.N. Zelaznik (Ed.), *Advances in motor learning and control* (pp. 225-260). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Kekenbosch, C., Desclés, J. P., Meunier, J.-M., Richard, J.-F., & Flageul, V. (1998). Sémantique cognitive de l'action : 2. Etude expérimentale de la catégorisation des verbes d'action. *Langages*, 132, 48-68.
- Kelso, J.A.S. (1982). *Human Motor behavior: An introduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic patterns. The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kersh, B.Y. (1958). The adequacy of "meaning" as an explanation for the superiority of learning by independent discovery. *Journal of Educational Psychology*, 49, 282-292.
- Kerzel, D., Hecht, H., & Kim, N-G. (1999). Image velocity, not tau, explains arrival-time judgments from global optical flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1540-1555.
- Kharraz-Tavakol, O.D., Eggert, T., Mai, N., & Straube, A. (2000). Learning to write letters: Transfert in automated movements indicates modularity of motor programs in human subjects. *Neuroscience Letters*, 282, 33-36.
- Kieras, D.E., & Bovair, S. (1986). The acquisition of procedures from text: A production-system analysis of transfert of training. *Journal of Memory and Language*, 25, 507-524.
- Kintsch, W., & Van Dijk, T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- Klatzki, R.L., Pellegrino, J., McCloskey, B.P., & Doherty, S.L. (1988). Can you squeeze a tomato ? The role of motor representation in semantic sensibility judgments. *Journal of Memory and Language*, 28, 56-77.
- Klatzki, R.L., Pellegrino, J., McCloskey, B.P., & Lederman, S.L. (1993). Cognitive representations of functional interactions with objects. *Memory and Cognition*, 21, 294-303.

- Knowlton, B.J., & Squire, L.R. (1996). Artificial grammar learning depends on implicit acquisition of both abstract and exemplar-specific information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*, 169-181.
- Krist, H., Fieberg, E.L., & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgement: The development of knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*, 952-966.
- Latash, M.L. (1994). Reconstruction of equilibrium trajectories and joint stiffness patterns during single-joint voluntary movements under different instructions. *Biological Cybernetics*, *71*, 441-450.
- Latash, M.L., & Jaric, S. (1998). Instruction-dependent muscle activation patterns within a two-joint synergy: Separating mechanics from neurophysiology. *Journal of Motor Behavior*, *30*, 194-198.
- Laugier, C. (1995). Apprentissage par observation en danse : rôle des processus représentatifs dans la reproduction de mouvements. Thèse de doctorat non publiée. Université Montpellier I : Montpellier.
- Le Ny, J.-F. (1989). La sémantique psychologique. Paris: P.U.F.
- Lee, D.N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time to collision. *Perception*, *5*, 437-459.
- Lee, D.N., & Reddish, P.E. (1981). Plummeting gammet: A paradigm of ecological optics. *Nature*, *93*, 293-294.
- Lee, T.D., Blandin, Y., & Proteau, L. (1996). Effects of task instructions and oscillation frequency on bimanual coordination. *Psychological Research*, *97*, 100-106.
- Lee, T.D., & Swinnen, S.P. (1993). Three legacies of Bryan and Harter: Automaticity, variability and change in skilled performance. In J.L. Starks & F. Allard (Eds.), *Cognitive issues in motor expertise* (pp. 295-315). Amsterdam: Elsevier.
- Lee, Y.-S. (1995). Effects of learning context on implicit and explicit learning. *Memory and Cognition*, *23*, 723-734.
- Lee, Y.-S., & Vakoč, D.A. (1996). Transfert and retention of implicit and explicit learning. *British Journal of Psychology*, *97*, 637-651.
- Levelt, W.J.M. (1989). *Speaking: From intention to articulation*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Lewicki, P., Hill, T., & Bizot, E. (1988). Acquisition of procedural knowledge about a pattern of stimuli that cannot be articulated. *Cognitive Psychology*, *20*, 24-37.
- Logan, G.D. (1980). Attention and automaticity in stroop and priming tasks: Theory and data. *Cognitive Psychology*, *12*, 523-553.
- Logan, G.D. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologica*, *60*, 193-210.
- Logan, G.D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492-527.

- Luc, F., Marescaux, P.-J., & Karnas, G. (1989). Modes d'apprentissage implicite et explicite dans une tâche de contrôle dynamique : Influence des traits de surface du système et d'une information donnée dans la consigne. *L'Année Psychologique*, *89*, 489-512.
- Macrae, A.W., & Holding, D.H. (1965). Guided practice in direct and reversal serial tracking. *Ergonomics*, *8*, 487-492.
- Macrae, A.W., & Holding, D.H. (1966a). Rate and force of guidance in perceptual-motor tasks with reversed or random spatial correspondence. *Ergonomics*, *9*, 289-296.
- Macrae, A.W., & Holding, D.H. (1966b). Transfer of training after guidance of practice. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *18*, 327-333.
- Maddox, M.D., Wulf, G., & Wright, D.L. (1999). The effect of an internal vs. external focus of attention on the learning of a tennis stroke. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *21*, Supplement, S78.
- Magill, R.A. (1989). Motor learning: Concepts and applications. Brown, IA: Dubuque.
- Magill, R.A. (1998). Knowledge is more than we can talk about: Implicit learning in motor skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *69*, 104-110.
- Magill, R.A., & Clark, R. (1997). Implicit versus explicit learning of pursuit-tracking patterns. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *19*, Supplement, S85.
- Marescaux, P.J. (1997). Can dynamic control task knowledge be communicated ? *Psychologica Belgica*, *37*, 51-68.
- Markman, A.B., & Makin, V.S. (1998). Referential communication and category acquisition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 331-354.
- Massaro, D.W. (1990). An informational analysis of perception and action. In W.P.O. Neuman (Ed.), *Relationships between perception and action* (pp. 133-166). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Masters, R.S.W. (1992). Knowledge, knerves, and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the break down of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, *83*, 343-358.
- Mathews, R.C., Buss, R.R., & Stanley, W.B. (1988). The role of explicit and implicit learning in concept discovery. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *40A*, 1083-1100.
- Mathews, R.C., Buss, R.R., Stanley, W.B., Blanchard-Fields, F., Cho, J.R., & Druhan, B. (1989). The role of implicit and explicit processes in learning from example : A synergistic effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 1083-1100.
- Mathews, R.C., & Cochran, B.P. (1998). Project grammarama revisited. In M.A. Stadler & P.A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp. 223-259). Thousand Oaks: Sage.
- McLeod, P., McLaughlin, C., & Nimmo-Smith, I. (1985). Information encapsulation and automaticity: Evidence from the visual control of finely timed actions. In M.I. Posner, & O.

- Marin (Eds.), *Attention and Performance XV* (pp. 391-406). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Miller, G.A. (1958). Free recall of redundant strings of letters. *Journal of Experimental Psychology*, *56*, 485-491.
- Mohr, D.R., & Barret, M.E. (1962). Effect of knowledge of mechanical principles in learning to perform intermediate swimming skills. *The Research Quarterly*, *33*, 574-580.
- Mottet, D., Bardy, B., & Athènes, S. (1994). A note on data smoothing for movement analysis: The relevance of a nonlinear method. *Journal of Motor Behavior*, *26*, 51-55.
- Mottet, D., & Bootsma, R.J. (1999). The dynamics of goal-directed aiming. *Biological Cybernetics*, *80*, 235-245.
- Murphy, & Robertson. (1994). Wc need to be corrected for the dual pass. *Journal of Applied Biomechanics*, *10*, 374-381.
- Nespoulous, J.-L., Heurley, L., Puel, M., Dupleichs, E., Virbel, J., & Evrard, F. (1999). Apraxie et discours procédural. In J. Virbel, J.-M. Cellier, & J.-L. Nespoulous (Eds.), *Cognition, discours procédural, action Vol II*. (pp. 109-191). Toulouse: P.R.E.S.C.O.T.
- Newell, K.M. (1985). Coordination, control, and skill. In D. Goodman, R.B. Wilberg, & I.M. Franks (Eds.), *Differing perspective in motor learning, memory, and control* (pp. 295-317). Amsterdam: North-Holland.
- Newell, K.M. (1991). Motor skill acquisition. *Annual Review of Psychology*, *42*, 213-237.
- Newell, K.M., Carlton, M.J., Fisher, A.T., & Rutter, B.G. (1989). Whole-part training strategies for learning the response dynamics of microprocessors driven simulators. *Acta Psychologica*, *71*, 197-216.
- Newell, K.M., & McDonald, P.V. (1992). Searching for solutions to the coordination function: Learning as exploratory behavior. In G.E. Stemalch & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior II* (pp. 517-532). Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
- Nicolas, S. (1996). L'apprentissage implicite : Le cas des grammaires artificielles. *l'Année Psychologique*, *96*, 459-493.
- Nisbett, R.E., & Wilson, T.D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, *84*, 231-259.
- Nissen, M.J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, *19*, 1-32.
- Noble, W. (1993). What kind of approach to language fits Gibson approach to perception ? *Theory & Psychology*, *3*, 57-78.
- Pagano, C.C., & Bingham, G.P. (1998). Comparing measures of monocular distance perception: verbal and reaching errors are not correlated. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1037-1051.

- Paillard, J. (1985). Les niveaux sensorimoteurs et cognitifs du contrôle de l'action. In M. Laurent & P. Therme (Eds.), *Recherches en activités physiques et sportives Vol.I* (pp.147-163). Marseille: UEREPS.
- Paillard, J. (1991). The cognitive penetrability of sensorimotor mechanisms : a key problem in sport research. *International Journal of Sport Psychology*, 22, 244-250.
- Parker, J.F., & Fleisman, E.A. (1961). Use of analytical information concerning task requirements to increase the effectiveness of skill training. *Journal of Applied Psychology*, 45, 295-302.
- Pascual, E., Nespoulous, J.-L., & Virbel, J. (1997). Le texte procédural : langage, action et cognition. Toulouse: Pôle Universitaire Européen de Toulouse/P.R.E.S.C.O.T.
- Pascual, E., & Péry-Woodley, M.-P. (1997). Définition et action dans les textes procéduraux. In E. Pascual, J.-L. Nespoulous, & J. Virbel (Eds.), *Le texte procédural : langage, action, cognition* (pp. 223-247). Toulouse: Pôle Universitaire Européen de Toulouse/PRESCOT.
- Pascual-Leone, A., Grafman, J., Clark, K., Stewart, M., Massaquoi, S., Lou, J.S., & Hallett, M. (1993). Procedural learning in Parkinson's disease and cerebellar degeneration. *Annals of Neurology*, 34, 594-602.
- Peper, C.E., Bootsma, R.J., Mestre, D.R., & Bakker, F.C. (1994). Catching balls: How to get at the hand to the right place at the right time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 591-612.
- Perruchet, P. (1994a). Defining the knowledge units of a synthetic language: Comment on Vokey and Brooks (1992). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 223-228.
- Perruchet, P. (1994b). Learning from complex rule governed environments: On the proper functions of nonconscious and conscious processes. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance: Conscious and non conscious information processes Vol. XV* (pp. 811-835). Cambridge: Bradford.
- Perruchet, P., & Amorin, P.A. (1992). Conscious knowledge and changes in performance in sequence learning: Evidence against dissociation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 785-800.
- Perruchet, P., Bigand, E., & Benoit-Gonin, F. (1997a). The emergence of explicit knowledge during the early phase of learning in sequential reaction time tasks. *Psychological Research*, 60, 4-13.
- Perruchet, P., & Gallego, J. (1993). Association between conscious knowledge and performance in normal subjects: Reply to Cohen and Curran (1993) and Willingham, Greeley, and Bardonne (1993). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1438-1444.
- Perruchet, P., Gallego, J., & Savy, I. (1990). A critical reappraisal for unconscious abstraction of deterministic rules in complex experimental situations. *Cognitive Psychology*, 22, 493-516.

- Perruchet, P., & Pacteau, C. (1990). Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge ? *Journal of Experimental Psychology: General*, *119*, 264-275.
- Perruchet, P., & Vinter, A. (1998). Learning and development, the implicit assumption reconsidered. In M.A. Stadler & P.A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning* (pp.495-531). Thousands Oaks: Sage Publications.
- Perruchet, P., Vinter, A., & Gallego, J. (1997). Implicit shapes new conscious percepts and representation. *Psychonomic Bulletin and Review*, *4*, 43-48.
- Peters, M., & Ivanoff, J. (1999). Performances asymetries in computer mouse control of right-handers, and left-handers with left-and right-handed mouse experience. *Journal of Motor Behavior*, *31*, 86-94.
- Pew, R.W. (1974). Levels of analysis in motor control. *Brain Research*, *71*, 393-400.
- Phillips, J.G., & Hughes, B.G. (1988). Internal consistency of the concept of automaticity. In A.M. Colley & J.R. Beech (Eds.), *Cognition and action in skilled behavior* (pp. 317-331). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Polanyi, M. (1958). Personal knowledge. Chicago: The university Chicago Press.
- Polit, A., & Bizzi, E. (1978). Processes controlling arm movements in monkey. *Science*, *201*, 1235-1237.
- Posner, M.I., & Klein, R.M. (1973). On the functions of consciousness. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and Performance* (pp. 21-35). New-York: Academic Press.
- Posner, M.I., Nissen, M.J., & Ogden, W.C. (1978). Attended and non attended processing modes: The role of set for spatial information. In H. L. Pick & I. J. Slatzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 137-157). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Posner, M.I., & Snyder, C.R.R. (1975). Attention and control. In R.L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition* (pp. 55-84). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Prather, D.C. (1971). Trial and error versus errorless learning: Training, transfert and stress. *American Journal of Psychology*, *84*, 377-386.
- Prinz, W. (1990). A common approach to perception and action. In W.P.O. Neuman (Ed.), *Relationships between perception and action, current approaches* (pp. 167-201). Berlin: Springer-Verlag.
- Prinz, W. (1997a). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*, 129-154.
- Prinz, W. (1997b). Why Donders has led us astray. In B. Hommel, W. Prinz (Eds.), *Theoretical Issues in Stimulus Response compatibility* (pp. 247-267). Amsterdam: Elsevier Science.
- Reber, A.S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*, 855-863.

- Reber, A.S. (1969). Transfert of syntatic structure in synthetic language. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 115-119.
- Reber, A.S. (1976). Implicit learning and synthetic language: The role of instructional set. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2, 88-94.
- Reber, A.S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219-235.
- Reber, A.S., & Allen, R. (1978). Analogic and abstraction strategies in synthetic grammar learning. *Cognition*, 6, 198-221.
- Reber, A.S., Allen, R., & Regan, S. (1985). Syntactical learning and judgment, still unconscious and still abstract: Comment on Dulany, Carlson, and Dewey (1984). *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 17-24.
- Reber, A.S., Kassin, S.M., Lewis, S., & Cantor, G. (1980). On the relationships between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 6, 492-502.
- Reber, A.S., & Lewis, S. (1977). Implicit learning: Analysis of the form and structure of a body of tacit knowledge. *Cognition*, 5, 331-361.
- Reber, A.S., & Millward, R.B. (1968). Event observation in probability learning. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 317-327.
- Reber, P.J., Kotovsky, K. (1997). Implicit learning in problem solving: The role of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126, 178-203.
- Redington, M., & Chater, N. (1996). Transfer in artificial grammar learning: A reevaluation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 123-138.
- Richard, J.-F. (1994). Compréhension de textes de consignes d'action. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Eds.), *Cours de psychologie, Champs et théories vol. III* (pp. 23-33). Paris: Dunod.
- Richard, J.-F. (1990). Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions. Paris : Armand Colin.
- Richards, L., & Chiarello, C. (1997). Activation without selection: Parallel right hemisphere roles in language and intentional movement. *Brain and Language*, 57, 151-178.
- Ripoll, H. (1991). The understanding-acting process in sport : the relationship between the semantic and the sensorimotor visual fonction. *International Journal of Sport Psychology*, 22, 221-243.
- Rosch, E., & Lloyd, B.B. (1978). Cognition and categorization. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Rosembaum, D.A. (1993). Human motor control. San Diego: Academic Press, Inc.
- Rosenthal, V. (1993). Congnition, vie et temps. *Intellectica*, 16, 175-207.
- Sambrook, T., & Whiten, A. (1997). On the nature of complexity in cognitive and behavioral science. *Theory & psychology*, 7, 191-213.

- Sanderson, P.M. (1989). Verbalizable knowledge and skilled task performance: Association, dissociation, and mental models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 729-747.
- Schmidt, R.A. (1988). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (2° ed.). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Schmidt, R.A., & Gordon, G.B. (1977). Errors in motor responding, "rapid" corrections and false anticipations. *Journal of Motor Behavior*, *9*, 101-111.
- Schmidt, R.A., & Lee, T.D. (1999). *Motor learning and control: A behavioral emphasis* (3°ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schneider, W., & Shiffrin, R.N. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, *84*, 1-66.
- Schooler, J.W., & Engstler-Schooler, T.Y. (1990). Verbal overshadowing of visual memories: some things are better left unsaid. *Cognitive Psychology*, *22*, 36-71.
- Schooler, J.W., Ohlsson, S., & Brooks, K. (1993). Thoughts beyond words: When language overshadows insight. *Journal of Experimental Psychology: General*, *2*, 166-183.
- Schvaneveldt, R.W., & Gomez, R.L. (1998). Attention and probabilist sequence learning. *Psychological Research*, *61*, 175-190.
- Searle, J. (1972). *Les actes de langage*. Paris: Herman.
- Sebillotte, S. (1991). Décrire des tâches selon les objets des opérateurs. De l'interview à la formalisation. *Le Travail Humain*, *54*, 193-223.
- Seger, C.A. (1994). Implicit Learning. *Psychological bulletin*, *115*, 163-196.
- Servan-Schreiber, D., & Anderson, J.R. (1990). learning artificial grammar with competitive chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 592-608.
- Shanks, D.R., & Johnstone, T. (1999). Evaluating the relationship between explicit and implicit knowledge in a sequential reaction time task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *25*, 1435-1451
- Shanks, D.R., & St John, M.F. (1994). Characteristics of dissociable learning systems. *Behavioral and Brain Science*, *17*, 367-447.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, *27*, 379-423.
- Shaw, R.E., Kadar, E., Sim, M., & Repperger, D.W. (1992). The intentional spring: A strategy for modelling systems that learn to perform intentional acts. *Journal of Motor Behavior*, *24*, 3-28.
- Shea, C.H., & Wulf, G. (1999). Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, *18*, 553-571.

- Shea, J.B., & Paull, G. (1996). Capturing expertise in sports. In K.A. Ericsson (Ed.), *The road to excellence. The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games* (pp. 321-335). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Singer, R.N. (1977). To Err or not to Err: A question for the instruction of psychomotor skills. *Review of Educational Research, 47*, 479-498.
- Singer, R.N. (1980). Motor behavior and the role of cognitive processes and the learner strategies. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 591-606). Amsterdam: North Holland.
- Singer, R.N., Cauraugh, J.H., Chen, D., Steinberg, G.M., Frehlich, S.G., & Wang, L. (1994). Training mental quickness in beginning/ intermediate tennis players. *The sport psychologist, 8*, 305-318.
- Singer, R.N., Lidor, R., & Cauraugh, J.H. (1993). To be aware or not aware ? What to think about while learning and performing a motor skill. *The Sport Psychologist, 7*, 19-30.
- Singer, R.N., Lidor, R., & Cauraugh, J.H. (1994). Focus of attention during motor skill performance. *Journal of Sport Sciences, 12*, 335-340.
- Singer, R.N., & Pease, D. (1976). The effect of different instructional strategies on learning, retention and transfert of a serial motor task. *Research Quaterly, 47*, 788-796.
- Singer, R.N., & Pease, D. (1978). Effect of guided versus discovery learning strategies on initial motor task learning, transfert and retention. *Research Quaterly, 49*, 206-217.
- Smith, P. (1989). Padding point extrapolation techniques for the Butterworth digital filter. *Journal of Biomechanics, 22*, 967-971.
- Spray, J.A. (1986). Absolute error revisited: An accuracy indicator in disguise. *Journal of Motor Behavior, 18*, 225-238.
- Squire, L.R. (1992). Declarative and non declarative memory: Multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neurosciences, 99*, 195-231.
- Stadler, M.A. (1992). Statistical structure and implicit learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 18*, 318-327.
- Stanley, W.B., Mathews, R.C., Buss, R.R., Kotler-Cope,S. (1989). Insight without awareness: On the interaction of verbalization, instruction and practice in a simulated process control task. *Quaterly Journal of Experimental Psychology, 41A*, 553-577.
- Stern, J. (1994). Statistical inference, zero knowledge and proofs of identity. In P. Grassberger & J.-P. Nadal (Eds.), *From statistical physics to statistical inference and back* (pp. 169-182). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Stoffregen, T.A., Gorday, K.M., & Flynn, S.B. (1999). Perceiving affordances for another person's actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25*, 120-136.

- Swinnen, S.P. (1996). Information feedback for motor skill learning: a review. In H.N. Zelaznik (Ed.), *Advances in motor learning and control* (pp. 37-64). Champaign: Human Kinetics.
- Thon, B., Erhani, E., & Lagarde, J. (1997). La mémorisation des actions verbalement décrites en fonction des modalités d'encodage initial. In E. Pascual, J.-L. Nespoulous, & J. Virbel (Eds.), *Le texte procédural : langage, action, cognition* (pp. 353-364). Toulouse: Pôle Universitaire Européen de Toulouse/PRESCOT.
- Tijus, C.H., Poitrenaud, S., & Richard, J.-F. (1996). Propriétés, objets, procédures : Les réseaux sémantiques d'actions appliqués à la représentation des dispositifs techniques. *Le Travail Humain*, 59, 209-229.
- Tresilian, J.R. (1999). Analysis of recent empirical challenges to an account of interceptive timing. *Perception and Psychophysics*, 61, 515-528.
- Tresilian, J.R. (1994). Perceptual and motor processes in interceptive timing. *Human Movement Science*, 13, 335-373.
- Underwood, G. (1996). *Implicit cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Underwood, G., & Bright, J.E.H. (1996). Cognition with and without awareness. In G. Underwood (Ed.), *Implicit cognition* (pp. 1-40). Oxford: Oxford University Press.
- Vallacher, R.R., & Wegner, D.M. (1987). What do people think they are doing ? *Psychological Review*, 94, 3-15.
- van Donkelaar, P., & Lee, R.G. (1994). The role of vision and eye motion during reaching to intercept moving targets. *Human Movement Science*, 13, 765-783.
- Verbrugge, R.R. (1985). Language and event perception. Steps toward a synthesis. In W. Warren & R.E. Shaw (Eds.), *Persistence and change. Proceedings of the first international conference on event perception* (pp. 157-194). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Verdolini-Marston, K., & Balota, D.A. (1994). Role of elaborative and perceptual integrative processes in perceptual-motor performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 739-749.
- Vereijken, B. (1991). The dynamics of skill acquisition. Unpublished PH.D.Thesis. Free University, Amsterdam.
- Vereijken, B., van Emmerik, R.E.A., Bongaardt, R., Beek, W.J., & Newell, K.M. (1997). Changing coordinative structures in complex skill acquisition. *Human Movement Science*, 16, 823-444.
- Vereijken, B., van Emmerik, R.E.A., Whiting, H.T.A., & Newell, K.M. (1992). Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, 24, 133-142.
- Vereijken, B., & Whiting, H.T.A. (1990). In defense of discovery learning. *Canadian Journal of Sport Psychology*, 15, 99-106.
- Veyrac Merad-Boudia, H. (1998). Approche ergonomique des représentations de la tâche pour l'analyse d'utilisations de consignes dans des situations de travail à risque. Thèse de Doctorat non publiée. Université Toulouse le Mirail, Toulouse.

- Virbel, J. (1995). Sur certains aspects illocutoires des textes de type "consigne". In J.-L. Nespoulous & J. Virbel (Eds.), *Textes de type consigne. Perception, action, cognition* (pp. 13-26). Toulouse: Pôle Universitaire Européen de Toulouse/ PRESCOT.
- Virbel, J. (1997). Divers types de différences entre divers types de consignes. In E. Pascual, J.-L. Nespoulous, & J. Virbel (Eds.), *Le texte procédural : langage, action, cognition* (pp. 173-198). Toulouse: Pôle Universitaire Européen de Toulouse/PRESCOT.
- Virbel, J. (1999). Contribution de la théorie des actes de langage à une taxinomie des consignes. In J. Virbel, J.-M. Cellier, & J.-L. Nespoulous (Eds.), *Cognition, discours procédural, action Vol II* (pp. 1-44). Toulouse: PRESCOT.
- Viviani, P., & Terzuolo, C. (1980). Space-time invariance in learned motor skills. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (pp. 525-533). Amsterdam: North-Holland.
- Vokey, J.R., & Brooks, L.R. (1992). Salience of item knowledge in learning artificial grammars. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 328-344.
- Von Wright, J.M.A. (1971). A note on the role of guidance in learning. *British Journal of Psychology*, 48, 133-137.
- Wang, T.L. (1925). The influence of tuition in the acquisition of skill. *Psychological Monographs*, 154.
- Ward, T.B., & Becker, A.H. (1992). Learning categories with and without trying: Does it make a difference ? In B. Burns (Ed.), *Percepts, concepts and categories* (pp. 451-491). Amsterdam: Elsevier.
- Welford, A.T. (1968). *Fundamental of Skills*. London: Methuen.
- Whiting, H.T.A., Gill, B., & Stephenson, J. (1970). Critical time intervals for taking in flight information in a ball-catching task. *Ergonomics*, 13, 265-272.
- Whiting, H.T.A., Salvesberg, G.J.P., & Faber, C.M. (1988). Catch questions and incomplete answers. In A.M. Colley & J.M.E. Beech (Eds.), *Cognition and action in skilled behavior* (pp. 257-271). Amsterdam: North Holland.
- Williams, M., & Davids, K. (1995). Declarative knowledge in sports: A by-product of experience or a characteristic of expertise ? *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17, 259-275.
- Willingham, D.B., Greely, T., & Bardonne, A. (1993). Dissociation in a serial response time task using a recognition measure: A reply to Perruchet and Amorim. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1424-1430.
- Woodworth, R.A. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, 3, 1-119.
- Wulf, G., Höb, M., & Prinz, W. (1998). Instructions for motor learning: Differential effects of internal versus external focus of attention. *Journal of Motor Behavior*, 30, 169-179.
- Wulf, G., Lauterbach, B., & Toole, T. (1999). The learning advantage of an external focus of attention in golf. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 70, 120-126.

- Wulf, G., McNevin, N. H., Fuchs, T., Ritter, F., & Toole, T. (2000). Attentional focus in complex skill learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *71*, 229-239.
- Wulf, G., & Weigelt, C. (1997). Instruction about physical principles in learning a complex motor skill: To tell or not to tell... *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *68*, 362-367.
- Yu, B., Gabriel, B., Noble, L., & An, K.-N. (1999). Estimate of the optimum cutoff frequency for the Butterworth low pass digital filter. *Journal of Applied Biomechanics*, *15*, 318-329.
- Zanone, P.G., & Kelso, J.A.S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*, 403-421.
- Zatsiorsky, V.M. (1997). Kinematics of human motion. Champaign, IL: Human Kinetics.