

**Effet des instructions sur l'apprentissage  
d'une habileté de coordination manuelle.**

Nicolas Caillou  
2003

Thèse de doctorat STAPS  
Université Montpellier I.

<b>1. Introduction</b>	<b>p. 4</b>
<b>2. L'apprentissage comme dépassement des coordinations spontanées</b>	<b>p. 5</b>
2.1. La tâche: un niveau de contrainte spécifique	p. 6
2.2. Les différentes situations d'apprentissage	p. 7
2.2.1. Le concept de variable collective	p. 7
2.2.2. Le concept de paramètre de contrôle	p. 9
2.2.3. L'exemple de la tâche de coordination bimanuelle	p. 9
<b>3. Les différents moyens de dépassement des coordinations spontanées</b>	<b>p. 14</b>
3.1. Le retour d'information et l'acquisition motrice	p. 14
3.2. Les informations avant la pratique et l'acquisition motrice	p. 18
3.2.1. La démonstration: une aide à l'apprentissage	p. 19
3.2.1.1. La théorie de l'apprentissage social	p. 19
3.2.1.2. La théorie de la perception directe	p. 21
3.2.1.3. L'efficacité de la démonstration	p. 23
3.2.2. Les instructions sur le "comment faire"	p. 24
3.2.3. Les instructions multimodales	p. 27
<b>4. Les informations prodiguées avant l'apprentissage moteur: une nouvelle perspective</b>	<b>p. 29</b>
<b>Expérience 1: Etude de l'effet du niveau de description de la tâche à réaliser</b>	<b>p. 32</b>
1. Introduction	p. 32
2. Méthode	p. 32
2.1. Description générale de la tâche de coordination bimanuelle et du matériel	p. 33
2.2. Procédure	p. 34
2.2.1. Familiarisation avec la tâche de coordination bimanuelle	p. 34
2.2.2. Exploration de la dynamique intrinsèque	p. 34
2.2.3. Les sessions de pratique	p. 35
2.2.4. Les instructions	p. 36
2.2.5. Analyse des données et variables dépendantes	p. 39
3. Résultats	p. 41
3.1. Apprentissage	p. 41
3.1.1. Décalage de phase moyen des patrons de coordination exécutés	p. 41
3.1.2. Erreur au patron de coordination requis	p. 42
3.1.3. Variabilité des patrons de coordination exécutés	p. 43
3.2. Consistance collective des informations comportementales	p. 44

3.2.1. Consistance collective de précision	p. 44
3.2.2. Consistance collective d'attraction	p. 45
3.3. Dynamique intrinsèque	p. 46
3.3.1. Erreur aux patrons requis	p. 46
3.3.2. Variabilité des patrons exécutés	p.48
4. Discussion	p. 49

**Expérimentation 2: Effet de la quantité d'informations et d'une instruction analogique sur l'apprentissage moteur** **p. 58**

1. Introduction	p. 58
2. Méthode	p. 66
2.1. Description générale de la tâche de coordination bimanuelle et du matériel	p. 66
2.2. Les instructions	p. 67
2.3. Analyse des données et variables dépendantes	p. 68
3. Résultats	p. 69
3.1. Apprentissage	p. 69
3.1.1. Décalage de phase moyen des patrons de coordination exécutés	p. 69
3.1.2. Erreur absolue au patron requis	p. 70
3.1.3. Variabilité des patrons exécutés	p. 71
3.1.4. Consistance collective de précision	p. 73
3.1.5. Consistance collective d'attraction	p. 73
3.2. Dynamique intrinsèque	p. 74
3.2.1. Erreur absolue au patron requis	p. 74
3.2.2. Variabilité des patrons exécutés	p. 77
4. Discussion	p. 78

**Expérimentation 3: Effet d'une instruction analogique de haut niveau de description de la tâche à réaliser et d'une instruction descriptive sur l'apprentissage d'une habileté de coordination faiblement contraignante** **p. 86**

1. Introduction	p. 86
2. Méthode	p. 88
2.1. Description générale de la tâche de coordination bimanuelle et du matériel	p. 88
2.2. Les instructions	p. 91
2.3. Analyse des données et variables dépendantes	p. 91
3. Résultats	p. 92
3.1. Apprentissage	p. 92

3.1.1. Décalage de phase moyen des patrons exécutés	p. 92
3.1.2. Erreur absolue au patron requis	p. 93
3.1.3. Variabilité des patrons de coordination exécutés	p. 94
3.1.4. Consistance collective de précision	p. 95
3.1.5. Consistance collective d'attraction	p. 95
3.2. Dynamique intrinsèque	p. 96
3.2.1. Erreur au patron requis	p. 96
3.2.2. Variabilité des patrons exécutés	p. 97
4. Discussion	p. 99
<b>Discussion générale et perspectives</b>	<b>p. 107</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>p. 113</b>

## 1. Introduction

Le but principal de ce mémoire de recherche était d'étudier les effets de différents types d'informations données avant l'apprentissage d'une habileté motrice. Les travaux précédemment réalisés dans notre laboratoire s'étaient surtout intéressés à l'émergence et à l'évolution spontanée des coordinations motrices avec la pratique (Caillou, Nourrit, Deschamps, Lauriot & Delignières, 2002; Delignières, Nourrit, Sioud, Leroyer, Zattara & Micaleff, 1998; Delignières, Nourrit, Deschamps, Lauriot & Caillou, 1999; Nourrit, Lauriot, Deschamps, Caillou & Delignières, 2000; Nourrit, Delignières, Caillou, Deschamps & Lauriot, sous presse). Néanmoins l'enseignement ne saurait se résumer à l'observation passive de l'évolution spontanée des coordinations. Il est avant tout un processus d'influence, dans lequel un «enseignant» tente d'orienter et d'optimiser le processus d'apprentissage. Dès lors, en parallèle aux études des coordinations motrices et de leur dépassement, notre laboratoire a étendu son domaine de recherche à l'étude de facteurs pouvant guider, influencer, faciliter l'acquisition motrice. Un facteur étudié dans ce manuscrit rassemble les informations prodiguées avant l'apprentissage moteur.

L'enseignant en éducation physique et sportive dispose de divers moyens pour influencer l'activité de l'apprenant. Le travail que nous avons réalisé porte sur l'un des plus communément employés: les explications, consignes ou instructions données à l'apprenant avant pratique. Un certain nombre de travaux récents se sont intéressés à l'efficacité de ces instructions. Paradoxalement, les résultats tendent le plus souvent à montrer l'inefficacité de telles instructions et à promouvoir une stratégie d'apprentissage par découverte (Vereijken & Whiting, 1989, 1990; Vereijken, 1991; Wulf & Weigelt, 1997). Ces résultats peuvent évidemment surprendre, quand on connaît l'utilisation généralisée des instructions au sein du système scolaire et dans l'entraînement sportif. On peut supposer que si ces informations étaient réellement inefficaces, leur utilisation ne serait pas aussi répandue.

La question qui a motivé ce travail a donc été de comprendre comment et dans quelle mesure une information donnée avant la réalisation d'une tâche pouvait favoriser le processus d'apprentissage. La revue de littérature qui introduit ce mémoire s'intéressera aux travaux réalisés dans le cadre des aides à l'apprentissage et notamment des différents types de consignes et d'instructions. Nous tenterons notamment d'analyser les causes des constats d'inefficacité généralement rapportés. Puis nous essaierons de proposer un nouveau cadre d'analyse du rôle de ces informations données avant la pratique lors d'un apprentissage. Enfin

nous tenterons de mettre en application ce cadre d'analyse en utilisant une tâche classique de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires, la tâche de coordination bimanuelle. Il nous semble de ce fait nécessaire de présenter tout d'abord le cadre théorique sous-tendant les travaux de recherche réalisés sur ce type de tâche.

## **2. L'apprentissage comme dépassement des coordinations spontanées**

Les coordinations spontanées représentent les modes de coordinations adoptés lorsqu'un sujet est confronté à une situation inédite ou tout simplement à une nouvelle tâche motrice. Ces modes de coordination caractéristiques des débutants ont été appréhendés de manière différenciée par les deux théories majeures en concurrence dans le domaine de l'apprentissage moteur, les théories cognitivistes et la théorie des systèmes dynamiques. Les théories cognitivistes du contrôle et de l'apprentissage moteur ont connu un essor remarquable durant les années 70 et au début des années 80 au travers des différents travaux liés aux propositions de Schmidt (1975, 1982) concernant les programmes moteurs généralisés. Selon ces théories, les premiers modes de coordination exhibés seraient déterminés par des programmes moteurs antérieurement stockés dans le système (Adams, 1971; Schmidt, 1982). L'activité du sujet réside dans la recherche du programme moteur généralisé le plus adapté à la tâche qui lui est proposée. Ensuite, ce programme est adapté au moyen de règles de paramétrisation pour répondre aux spécificités de la tâche à réaliser. Dans ce sens, l'apprentissage se conçoit à partir d'un stade «verbal», hautement cognitif, comme le passage à un stade plus procédural, autonome et non verbal (Fitts, 1964; Fitts & Posner, 1967; Anderson, 1982; Hodges & Franks, 2001). Cette théorie tend toutefois à être limitée dans l'explication du comportement lorsqu'une personne est confrontée à une tâche totalement inédite, dans une situation étrangère à toute expérience antérieure (Delignières et al., 1998). En effet, lorsque nous sommes face à une tâche nouvelle, il est concevable d'utiliser un programme moteur généralisé précédemment acquis en l'adaptant grâce aux règles de paramétrisation. Mais qu'en est-il lorsque la tâche est réellement nouvelle dans le sens où la solution motrice requise et le système de contraintes sont complètement atypiques. ? Cette situation est relativement courante, notamment dans des activités gymniques, le snow-board ou le kite-surf. Dans ces activités, il est fortement probable que l'apprenant ne puisse adapter un PMG tant les systèmes de contraintes et les modes de coordination types sont spécifiques. Réaliser des bascules en position mi-renversée sur des barres parallèles n'est il pas une situation atypique pour la plupart d'entre nous? Dès lors, comment est-il possible de résoudre la tâche?

La théorie des systèmes dynamiques considère l'apprentissage moteur comme un processus transitionnel entre des modes de coordination initiaux et d'autres patrons plus efficaces et efficaces (Zanone & Kelso, 1994). Les modes de coordination initiaux émergent de la dynamique intrinsèque du système formé par l'organisme et la tâche à laquelle il est confronté, et présentent une relative stabilité (Delignières et al. 1998; Caillou et al., 2002). L'apprentissage est alors appréhendé en termes de bifurcation de ces coordinations spontanées vers des modes de coordinations plus adaptés. Les concepts de dynamique intrinsèque et de stabilité de modes de coordination exécutés prennent ici une dimension essentielle (Walter, Lee & Sternad, 1998).

L'approche des systèmes dynamiques non linéaires place l'émergence de la coordination au carrefour d'interactions multiples de différentes contraintes pesant sur le système. Ces contraintes peuvent être définies comme des facteurs limitant les possibilités d'action (Kugler, 1986). Plus un système est contraint et moins il existe de solutions motrices alternatives pour résoudre une tâche. Classiquement, on distingue trois types de contraintes (Newell, 1986), selon qu'elles soient liées à l'organisme, à l'environnement, ou à la tâche. Les contraintes de l'organisme renvoient tout d'abord à ses caractéristiques physiques (son poids, sa taille, les dimensions relatives des segments, etc...). Elles renvoient également à l'expérience antérieure, c'est-à-dire aux habiletés acquises, aux connaissances stockées. Dans ce sens, les informations avant pratique peuvent permettre ou faciliter l'évocation d'une information antérieurement mémorisée. Enfin, elles comprennent l'état momentané de l'organisme, qui peut être marqué par la forme, la fatigue, l'excitation, etc...

Les contraintes liées à la tâche correspondent aux propriétés des lieux, des dispositifs, et des instruments utilisés. Elles renvoient également à l'ensemble des informations données, relatives au but de la tâche, et spécifiant le cas échéant le patron de coordination à réaliser. Les informations avant pratique sont donc définies dans ce cadre comme des contraintes liées à la tâche. Enfin le dernier réseau de contraintes, liées à l'environnement, rassemble un ensemble de facteurs moins proximaux, comme la luminosité, le taux d'humidité de l'air, la température ambiante. Les informations avant pratique sont au carrefour de plusieurs types de contraintes. Ainsi, leur champ d'action est large et complexe.

Une contrainte est, comme nous l'avons vu précédemment, un facteur limitant les degrés de liberté du système. Les contraintes liées à la tâche représentent un ensemble facilement manipulable en regard de l'apprentissage moteur. Les tâches se différenciant par

leur type et le niveau de contraintes qui pèse sur le sujet apprenant, une analyse plus précise des contraintes pouvant les caractériser est nécessaire.

### 2.1. La tâche: un niveau de contrainte spécifique

L'apprentissage moteur peut être appréhendé comme la recherche d'une solution motrice efficiente et efficace à travers l'espace de travail perceptivo-moteur (Fowler & Turvey, 1978; Newell & Van Emmerick; 1989; Newell, Kugler, Van Emmerick & McDonald, 1989; Newell, 1991). On peut supposer que la structure de l'espace de travail, déterminé par la nature des contraintes qui le constituent, influence fortement l'activité de l'apprenant, ses stratégies de recherche de solutions, et l'influence potentielle d'aides à l'apprentissage.

Un certain nombre de tâches motrices sont caractérisées par un haut niveau de contraintes (bio) mécaniques. On peut par exemple évoquer l'exemple du simulateur de ski, qui a servi de support pour de nombreux travaux dans le domaine de l'apprentissage (Vereijken, 1991; Wulf & Weigelt, 1997; Delignières et al. 1999; Nourrit, Ruiz, Lauriot, Deschamps, Caillou, & Delignières, 1999; Ruiz, 1999; Nourrit, 2000; Nourrit et al., sous presse). Les différents degrés de liberté et les propriétés visco-élastiques de l'organisme et de l'appareil constituent un système complexe, qui semble caractérisé par une fréquence d'oscillation optimale, une solution comportementale minimisant les coûts et optimisant l'efficacité (Durand, Geoffroi, Varray & Préfaut, 1994; Delignières et al., 1999). Ce mode de coordination optimal est fortement contraint par les caractéristiques de la tâche et donc les stratégies convergent vers cette solution. Dès lors, il peut être superflu de diriger le système par une quelconque aide ajoutée à la pratique, cette dernière se suffisant à elle-même (Vereijken & Whiting, 1990; Wulf & Weigelt, 1997; Delignières et al., 1999; Nourrit 2000; Nourrit et al., sous presse). L'exploration de l'espace perceptivo-moteur est «canalisée», dirigée, attirée vers cette solution motrice.

Il existe a contrario de nombreuses tâches dont les contraintes informationnelles et mécaniques sont très faibles. La trajectoire de la coordination dans l'espace de travail perceptivo-moteur n'est pas alors dirigée de façon univoque vers une solution motrice, et plusieurs stratégies alternatives peuvent émerger. Pour ce type de tâche, on peut s'attendre à rencontrer une plus grande variabilité comportementale inter-individuelle (Newell & Van Emmerick, 1990). Les différentes contraintes pesant sur le système ne suffisent pas pour diriger l'activité de recherche dans l'espace de travail perceptivo-moteur d'une solution

motrice efficace. Comme nous le verrons ultérieurement, cette distinction nous semble susceptible d'expliquer la relative inefficacité des instructions et de toute forme d'information avant pratique lors de récentes expérimentations.

## 2.2. Les différentes situations d'apprentissage

Du point de vue de la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires, le problème de l'apprentissage est celui de la déstabilisation des coordinations spontanées, et de la stabilisation de nouveaux modes de coordination, plus adaptés à la tâche à laquelle l'organisme est confronté. On conçoit qu'en fonction de la relative proximité de la coordination spontanée et de la coordination à acquérir, ou a contrario de leur antinomie, la situation d'apprentissage fera peser sur l'apprenant un jeu de contraintes entièrement différent. La caractérisation de ces situations, dans le cadre de l'approche dynamique, repose sur quelques concepts de base que nous allons définir, dont le concept de paramètre d'ordre, supposé permettre une mesure de la coordination, et celui de paramètre de contrôle, censé influencer sur la dynamique du paramètre d'ordre.

### 2.2.1. Le concept de variable collective

Le premier challenge de tout dynamiqueur dans le domaine de l'apprentissage moteur est de définir les modes de coordinations spontanés et leur évolution. Pour cela, le chercheur doit définir le ou les paramètres d'ordre (Schöner & Kelso, 1988a), ou variables collectives (Newell, 1986), décrivant l'état du système. Cette ou ces variables collectives sont de pures constructions de l'esprit de l'expérimentaliste. Leur détermination à elle seule peut revêtir l'objet principal d'une recherche expérimentale. De telles variables doivent rendre compte de la coordination dans son ensemble et résumer quantitativement une coordination qui elle est qualitative. Cette première étape peut déjà paraître difficile pour peu que la tâche soit coordinativement complexe, c'est-à-dire qu'elle demande la coordination de multiples degrés de liberté (Bernstein, 1967). La variable collective reflète au plus haut niveau, au niveau collectif, les interactions entre les différents sous-systèmes composant le système. Sa dynamique, c'est-à-dire son évolution à travers le temps, renseigne sur l'aspect qualitatif de la coordination du système. La notion de coordination de multiples degrés de liberté prend ici un sens unique et important et est étroitement liée à la notion de complexité. La coordination d'un système constitué d'un minimum de degrés de liberté (le nombre de degré de liberté minimal ne peut être défini car dépendant du niveau de contraintes et du système étudié) est le résultat

d'une auto-organisation générée à partir d'un système de contraintes. Dès lors la complexité est une condition nécessaire à l'émergence la coordination. Pour l'étude des systèmes dynamiques, le concept de stabilité est central et permet de déterminer les coordinations attractives et stables du système. Le niveau de variabilité et la valeur moyenne de la variable collective rendent compte de la coordination du système et permettent de déterminer qualitativement la coordination observée. Une variable collective pertinente doit mettre en évidence toute transition de phase définie comme un saut qualitatif d'un mode de coordination vers un nouveau mode de coordination qualitativement différent. D'un point de vue général, cette transition de phase est théoriquement précédée d'une baisse du niveau de stabilité (mesurée par le biais du calcul de la variabilité de la variable collective), suivie d'un changement, un saut, qualitatif de la coordination accompagné d'une nouvelle stabilisation. Il est à noter que dans l'étude de l'apprentissage moteur, une telle transition de phase a rarement été observée. Les transitions observées (Nourrit, 2000) se présentaient sous forme d'une période de multi stabilité de la dynamique de coordination induisant une phase plus ou moins longue d'instabilité de la coordination.

De nombreuses tâches motrices, plus ou moins complexes, ont été étudiées et appréhendées en termes de variable collective et d'évolution de cette dernière (Kelso, 1981a; Tuller & Kelso, 1989; Vereijken, 1991; Zanone & Kelso, 1992, 1997; Beek, Peper & Stegeman, 1995; Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien & Bogaerts, 1997; Delignières et al., 1998; Hodges & Lee, 1999; Hodges & Franks, 2001). Une variable collective très utilisée est la phase relative entre deux oscillateurs du système. Ce peut être le décalage de phase entre deux oscillateurs homologues des membres supérieurs (Yamanishi, Kawato & Suzuki, 1980; Kelso, Holt, Rubin & Kugler, 1981; Zanone & Kelso, 1992, 1997; Fontaine et al. 1997; Temprado, Zanone, Monno & Laurent, 1999), entre deux oscillations combinées du centre de gravité (Delignières et al., 1998), entre deux oscillateurs du même membre (Temprado, Della-Grasta, Farrell & Laurent, 1997), entre les oscillations d'un dispositif et celles du centre de gravité (Vereijken, 1991; Nourrit, et al., 1999; Nourrit 2000). Les différentes études mettent en évidence des modes de coordination émergents stables et relativement simples: les coordinations exhibées lors des premières confrontations à une tâche semblent caractérisées par une synchronisation absolue des phases et des fréquences (Swinnen, Dounskaia, Walter & Serrien, 1997). Par exemple, Delignières et al. (1998) montrent que lors de balancers en position mi-renversée sur des barres parallèles, les modes de coordination des sujets débutants sont caractérisés par des rapports de fréquence de 1:1 et un décalage de phase de 0°. Il en est

de même pour l'exécution d'une tâche de coordination bimanuelle, dans laquelle les modes de coordinations stables et attractifs sont les patrons en phase (contraction simultanée des muscles homologues; Kelso, 1984) et en anti-phase (contraction simultanée des muscles non-homologues). Ces modes de coordination représentent les attracteurs du système. Ces attracteurs sont définis comme des patrons stables, reproductibles et tenaces. Lorsque le système est perturbé, ce dernier a tendance à revenir vers cet état stable.

### 2.2.2. Le concept de paramètre de contrôle

Un paramètre de contrôle est un paramètre non-spécifique qui modifie les tendances attractives du système (Vereijken, 1991; Kelso, 1995). L'évolution de ce paramètre ou sa manipulation peut entraîner la déstabilisation d'un mode de coordination et un "saut" qualitatif vers un autre mode de coordination plus attractif et stable. Ce saut communément appelé transition de phase ou bifurcation est théoriquement précédé par une augmentation de la variabilité du paramètre d'ordre; puis survient un changement de valeur de ce paramètre, témoignant d'un changement qualitatif de l'organisation du système, vers une nouvelle valeur (Schöner, 1989, 1990a). Ce changement s'accompagne d'une nouvelle stabilisation du paramètre d'ordre. Il est alors facilement concevable que la manipulation d'un paramètre de contrôle facilitant l'apparition d'un mode de coordination recherché puisse en favoriser l'apprentissage.

Un exemple concret et écologique est l'apprentissage de la roue en gymnastique. La roue est un mode de coordination relativement facile lorsque la vitesse de déplacement horizontale est suffisamment élevée. On se rend compte que les personnes apprenant la roue ont tendance à l'exécuter avec peu de vitesse de déplacement, et dès lors, le mode de coordination "roue" est difficilement réalisable. En conséquence, il convient dans ce cas de mettre en place une situation permettant un déplacement avec une vitesse au moins égale à celle de la vitesse "critique" permettant l'émergence de la roue. La vitesse de déplacement représente dans cette situation un paramètre de contrôle. Ainsi, la manipulation du paramètre de contrôle vitesse de déplacement horizontal, favorise l'exécution de la roue. De ce fait, réaliser la roue sur un plan incliné vers le bas, favorise cette prise de vitesse et optimise l'apprentissage (Delignières, 1998).

### 2.2.3. L'exemple de la tâche de coordination bimanuelle

Après avoir donné une brève définition aux deux concepts centraux de l'approche dynamique des coordinations motrices, nous allons les approfondir dans le cadre de l'étude de la tâche de coordination bimanuelle. Cette tâche demande une synchronisation particulière entre les oscillations de deux sous-systèmes. On peut noter dans la littérature, une différence dans les oscillateurs utilisés: les doigts (Kelso, Sholz & Schöner, 1986), les poignets (Kelso, 1984), ou les coudes (Swinnen, Walter, Serrien & Vandendriessche, 1992), les résultats étant concordants. Dans ce type de tâche, la variable collective qui résume le mieux la coordination exhibée par les sujets est une variable prenant en compte la relation entre les mouvements de la main droite et ceux de la main gauche. Les deux membres oscillants sont définis comme deux oscillateurs auto-entretenus en cycle limite (Kay, Kelso, Saltzman & Schöner, 1987). Dès lors, le décalage de phase entre ces deux oscillateurs rend compte au plus haut niveau, le niveau collectif, du mode de coordination engagé (Kelso, 1977; Haken, Kelso & Bunz, 1985; Schöner, Haken & Kelso, 1986). A faible fréquence d'oscillation, deux modes de coordination spontanés émergent: le patron en phase et le patron en anti-phase. Ces deux modes de coordination, les seuls à pouvoir être spontanément exécutés, définissent la dynamique intrinsèque du système. Il existe une multitude de patrons de coordination intercalés entre les modes de coordination en phase et en anti-phase. Ces modes de coordinations sont appelés répellants du système et s'opposent en terme de stabilité et de puissance attractive aux modes de coordinations dits attracteurs. La détermination de la variable collective résumant la coordination adoptée permet l'identification des coordinations stables, précises, attractives du système.

Lorsqu'un paramètre de contrôle évolue, l'ensemble des potentialités du système s'en trouve bouleversé. Pour ce type de tâche, la fréquence d'oscillation des membres représente un paramètre de contrôle pertinent. A faible fréquence d'oscillation, comme l'exemple précédent, les deux modes de coordination (en phase et en anti-phase) sont attractifs. Plus la fréquence d'oscillation augmente et plus le patron de coordination en anti-phase devient instable (Kelso, 1984). Ainsi, le patron de coordination en anti-phase initialement attractif devient difficile à exécuter (Kelso, 1981b; Kelso, 1984). A haute fréquence d'oscillation, lorsqu'il est demandé de pratiquer le patron de coordination en anti-phase, spontanément le sujet bifurque vers le patron de coordination en phase qui reste le seul mode de coordination attractif.

Pour permettre de "résister" à cette bifurcation il est cependant possible de manipuler les intentions du sujet (Lee, Blandin & Proteau, 1996; Deschamps, 2000; Monno, Temprado, Zanone & Laurent, 2002). Ces travaux ont clairement démontré qu'il est possible de rendre attractif un mode de coordination initialement répellant à haute fréquence. Les résultats de Monno et al. (2002) mettent en évidence que la transition de phase attendue de l'anti-phase vers la phase à haute fréquence est moins fréquente lorsque les sujets ont l'intention de maintenir la coordination en anti-phase. De plus, lorsque le sujet est placé de manière répétitive dans une situation de haute fréquence d'oscillation, la diminution du nombre de transitions de phase est consistante à travers le temps. Les sujets résistent et bifurquent moins souvent vers le patron en phase s'ils ont pratiqué le patron en anti-phase à haute fréquence.

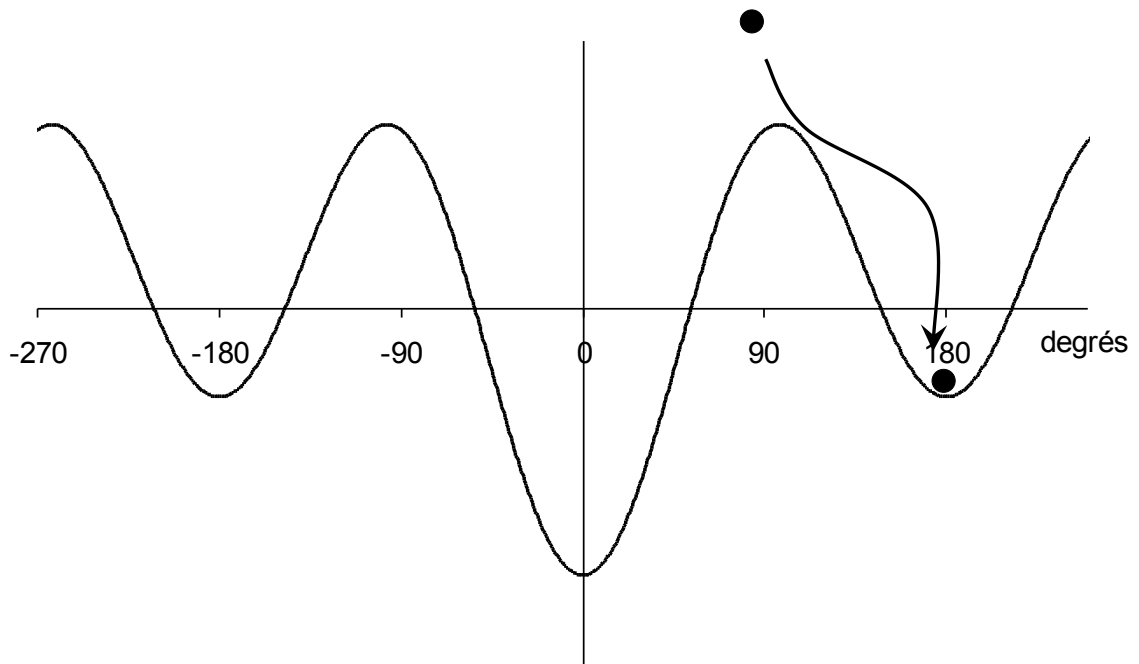
Selon Schöner (1989), l'apprentissage se définit comme «le changement d'un comportement vers un autre comportement à être appris» (p.39). Ce changement peut être spécifié par l'environnement. Dans cette définition, la notion de spécification par l'environnement de la coordination à apprendre renvoie à la notion d'information comportementale (Schöner & Kelso, 1988a et b; Schöner, 1989; Zanone & Kelso, 1992). On peut distinguer deux types d'information comportementale: les informations comportementales environnementales, correspondant à une spécification par voie de consignes extérieures du pattern à exécuter, et les informations comportementales mémorisées, renvoyant à une spécification générée de manière interne. Ainsi, l'apprentissage peut être appréhendé comme le processus par lequel l'information comportementale définie environnementalement engendre une information comportementale mémorisée (Schöner, 1989). Lorsqu'il est demandé au système d'acquérir un nouveau mode de coordination, c'est tout d'abord l'environnement qui spécifie le patron de coordination cible. Ensuite, grâce notamment à la pratique, le système peut réaliser ce même patron sans spécification par l'environnement. A ce stade, le système a mémorisé le patron à acquérir.

La dynamique intrinsèque de la tâche de coordination bimanuelle a été modélisée sous la forme d'une simple équation différentielle par Haken et al. (1985) et Schöner et al. (1986):

$$\dot{\phi} = -a \sin(\phi) - 2b \sin(2\phi) + \sqrt{Q}\xi(t)$$

dans laquelle  $\phi$  représente la phase relative et la notation pointée la dérivée par rapport au temps.  $\xi(t)$  est une fonction de bruit blanc de force  $Q$ .  $a$  et  $b$  sont des paramètres dont le rapport ( $b/a$ ) est lié à la fréquence d'oscillation.

Dans le cas d'une fréquence d'oscillation relativement faible (de l'ordre de 1Hz), il est difficile de réaliser tout autre patron de coordination que la phase ou l'anti-phase (Yamanishi et al., 1980; Kelso et al., 1981; Kelso, 1984). Néanmoins, il est possible de réaliser un autre patron de coordination en faisant appel à une information comportementale. Comme nous l'avons défini précédemment cette information renvoie à un patron de coordination requis. Cette demande semble résulter d'un processus perceptif ou de l'activation d'un comportement précédemment acquis. Les niveaux de stabilité des patrons de coordination peuvent être appréhendés visuellement par la représentation graphique de la fonction de potentiel précédemment définie. Pour exemple, la figure 1 représente un graphique, communément appelé paysage des attracteurs et met en évidence les potentialités du système, sa dynamique intrinsèque pour un rapport  $b/a$  défini. Ce paysage des attracteurs peut être appréhendé métaphoriquement en terme de vallées (les zones "profondes", dont les valeurs en ordonnée du graphique sont inférieures à 0) et de collines. Les vallées définissent les zones attractives pour le système et les collines les zones répellantes. La figure 1 représente un paysage des attracteurs pour un rapport  $b/a=1$ . Empiriquement, ce rapport représente une dynamique intrinsèque bistable correspondant pour une fréquence d'oscillation classique d'environ 1Hz. Si nous poussons plus loin cette image, le système, dont la coordination émerge, peut être appréhendé sous la forme d'une bille qui tomberait au milieu de cet ensemble de vallées et de collines. Il est aisé de comprendre que cette bille tombe dans les zones les plus profondes de ce paysage des attracteurs. Dans notre exemple de la figure 1, la bille tombe dans une des deux vallées. Ici la coordination exécutée est la coordination à  $180^\circ$  soit la coordination en anti-phase. La vallée étant creuse, ce mode de coordination est réalisé de manière relativement stable et précise.



*Figure 1: Paysage des attracteurs mettant en évidence une dynamique intrinsèque bistable (rapport  $b/a=1$ ).*

L'évolution d'un paramètre de contrôle entraîne une modification globale du paysage comme en témoigne la figure 2 par rapport à la figure 1. Cette modification traduit les effets de l'augmentation de la fréquence d'oscillation sur la dynamique intrinsèque. Ainsi, à haute fréquence d'oscillation, il n'émerge que le patron de coordination en phase. Le patron de coordination en anti-phase a perdu son pouvoir attractif. La bille tombant inexorablement dans la dernière vallée présente, celle définissant le niveau de stabilité du patron de coordination en phase.

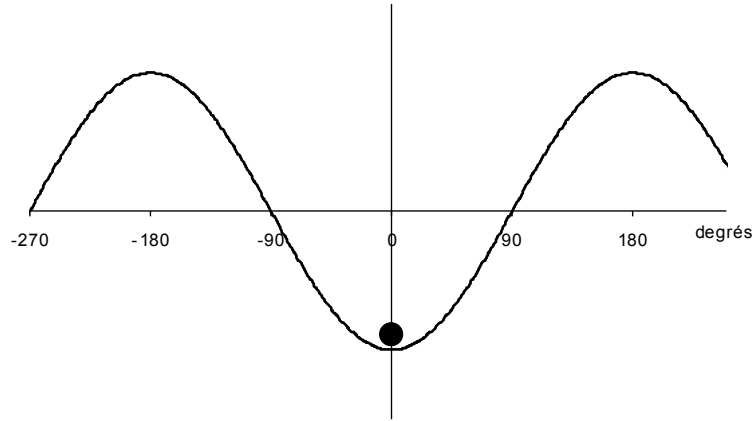


Figure 2: Paysage des attracteurs mettant en évidence une dynamique intrinsèque monostable avec comme état attractif le patron de coordination en phase (rapport  $b/a=0$ ).

Cette équation met en évidence la dynamique intrinsèque de la phase relative, c'est-à-dire son comportement spontané, hors de toute intention de produire un patron de coordination particulier. Elle rend notamment compte, lorsque le rapport  $b/a$  est proche de 1 (fréquence d'oscillation faible), de l'existence de deux zones de stabilité pour  $\varphi=0^\circ$  et  $\varphi=180^\circ$ . Lorsque la fréquence d'oscillation augmente (le rapport  $b/a$  devient de plus en plus faible), le pattern en anti-phase devient de plus en plus instable, et la dynamique devient monostable.

Cette équation a donc été enrichie de manière à intégrer les influences des deux types d'information comportementale que nous avons évoqués (Schöner, 1989):

$$\dot{\varphi} = -a \sin(\varphi) - 2b \sin(2\varphi) - c_{env} \sin(\varphi - \varphi_{env}) - c_{mem} \sin(\varphi - \varphi_{mem})$$

Dans cette équation,  $\varphi_{env}$  et  $\varphi_{mem}$  renvoient respectivement aux valeurs, aux phases relatives, des informations comportementales environnementale et mémorisée (exprimées dans la même métrique que le paramètre d'ordre  $\varphi$ ),  $c_{env}$  et  $c_{mem}$  à leur force respective.

Ces informations perturbent la dynamique intrinsèque du système. Le paramètre d'ordre est alors attiré par le patron de coordination requis. Si la force de cette information comportementale est suffisante, il devient alors possible de pratiquer un nouveau patron de coordination comme par exemple le patron de coordination à  $90^\circ$  (voir figure 3, dans laquelle, l'information mémorisée a pour cible le patron à  $90^\circ$ ). En début d'apprentissage on émet l'hypothèse que la force de l'information comportementale mémorisée est nulle (comme sur la figure 1). L'apprentissage se résume alors à l'augmentation de la force et à la précision de

plus en plus importante du patron de coordination mémorisé.

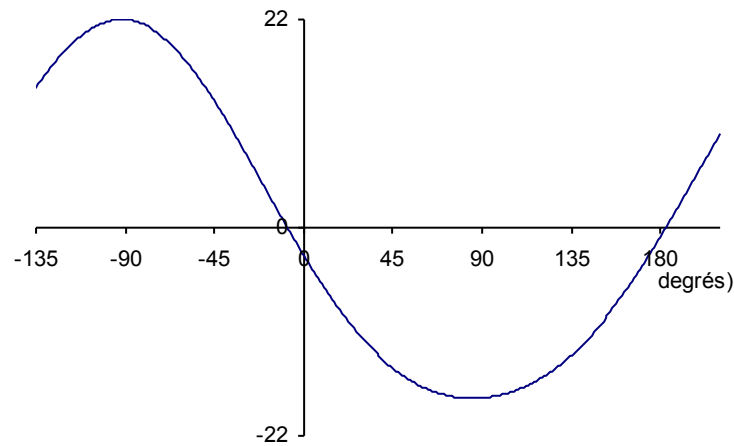


Figure 3: Paysage des attracteurs avec un rapport  $b/a=1$ ,  $c_{mem}=20\text{Hz}$  et un patron mémorisé à  $90^\circ$ .

Dans ce cadre théorique, l'objectif du présent travail était de manipuler ces deux composantes de l'information comportementale: la force de l'information, le paramètre  $c$ , et la précision du patron de coordination requis,  $\square$ . Pour cela, nous avons étudié uniquement la dynamique d'une information mémorisée. L'environnement spécifiera le patron de coordination à réaliser mais seulement avant la mise en pratique et non pendant l'activité motrice. Pendant la pratique la dynamique comportementale ne sera pas influencée par une information environnementale comme dans l'étude menée par Yamanishi et al. (1980). Dans ce sens il sera plus aisé de déterminer la dynamique de l'information comportementale mémorisée.

Les travaux théoriques (Schöner, 1989; Schöner, Zanone & Kelso, 1992) prédisent une construction progressive de l'information mémorisée. Cette construction induit au niveau comportemental une bifurcation abrupte d'un patron de coordination intrinsèque vers le patron requis. Cette hypothèse issue de la simulation n'a pas toujours été validée expérimentalement. En effet, lors de l'apprentissage dans des tâches requérant un grand nombre de degrés de liberté, les transitions de phase étaient caractérisées par une certaine progressivité (Vereijken, 1991; Delignières et al., 1999; Nourrit, 2000). La transition d'un mode de coordination intrinsèque vers le mode de coordination le plus efficace et efficient ne se caractérisait pas initialement par une augmentation de la variabilité de la variable collective

suivie d'une bifurcation vers le patron requis accompagnée par un retour d'une variabilité faible. Ces résultats mettent en valeur le caractère complexe de l'apprentissage.

### **3. Les différents moyens de dépassement des coordinations spontanées**

Favoriser l'acquisition des habiletés motrices est l'objectif de tout enseignant en éducation physique et sportive. Il dispose alors de différents moyens pour orienter ses élèves vers une solution motrice pertinente ou celle requise. L'enseignant peut aménager l'environnement. Le but est de faire émerger grâce à l'interaction des différentes contraintes matérielles le mode de coordination requis. De même, un enseignant peut donner des retours d'information, des feedbacks, pour diriger l'exploration de l'espace perceptivo-moteur. Enfin, il est possible de faciliter l'acquisition motrice en donnant des informations avant pratique. Ces informations regroupent les instructions mais aussi tout moyen de démonstration de la tâche à réaliser.

Les parties suivantes vont s'attacher à mettre en lumière les connaissances acquises sur les feedbacks, puis sur les informations avant pratique. Bien que souvent envisagées de manière séparée, ces deux stratégies d'enseignement sont en fait théoriquement liées, et notamment les résultats obtenus à propos des feedbacks vont nous permettre de jeter un regard nouveau sur la problématique des informations avant pratique.

#### **3.1. Le retour d'information et l'acquisition motrice**

Le rôle du feedback a été largement étudié, depuis des décennies. Ce concept englobe l'ensemble des informations que le sujet peut recevoir en retour d'une prestation. Dans cette revue nous ne prendrons en compte que les retours d'information augmentés. En effet, on distingue les feedbacks intrinsèques que le sujet reçoit naturellement au cours de sa prestation (par la vue, l'ouïe, la proprioception), et les retours d'information augmentés que le sujet reçoit d'une source additionnelle, par exemple de la part de l'enseignant, d'un autre élève, d'un ordinateur... (Schmidt, 1993). Ce feedback augmenté est toujours donné en plus du feedback intrinsèque, du moins dans les conditions écologiques de pratique.

Une autre classification utile des feedbacks renvoie à la nature des informations renvoyées (Adams, 1971; Schmidt, 1975). Les feedbacks peuvent se différencier selon qu'ils informent sur le résultat (par exemple l'écart à la cible), ou sur le mode de coordination

engagé par le sujet apprenant. Dans le premier cas on parle de connaissance du résultat et dans le second de connaissance de la performance (Gentile, 1972). Par exemple, un retour d'information de type connaissance du résultat serait: "tu as marqué 2 points à ce lancer de fléchette", et un feedback de type "ta jambe n'est pas montée assez haut lors de l'impulsion" serait de type connaissance de la performance.

Enfin le retour d'information peut être prodigué après la réalisation d'un essai ou d'un bloc d'essai (on parlera alors de feedback terminal), ou il peut être réalisé en direct, au cours même de l'essai. On parlera alors de feedback concourant (Schmidt, 1988, p. 425) ou *on line*. Leur fonction première reste la même: diriger la stratégie d'exploration de l'espace perceptivo-moteur et renforcer la coordination efficace. Dans ce sens, un retour d'information, terminal ou concourant, permet d'asseoir un mode de coordination si le résultat est positif ou de favoriser la recherche d'une solution motrice si celle exhibée s'avère inefficace ou peu appropriée.

Ces différentes idées ont été largement reprises par les théories cognitivistes, qui placent le feedback au centre des débats. Adams (1971) met ce type d'information au cœur du processus d'apprentissage. Sa théorie de l'apprentissage en boucle fermée repose en intégralité sur la présence et l'utilité des feedbacks. Pour Adams, ce qui est appris lors de la pratique est une trace perceptive. Cette dernière est renforcée seulement si le sujet reçoit en retour une information attestant de la justesse du résultat. Dès lors, un feedback positif renforce cette trace perceptive. Au contraire, un feedback négatif aura tendance à diminuer la puissance de la trace perceptive utilisée lors du dernier essai. Il est donc aisé de comprendre que le feedback ait reçu une attention importante tout au long des années 70 et 80, et tout particulièrement le feedback de type connaissance du résultat (Newell, 1974; Salmoni, Schmidt & Walter, 1984; Bennett & Simmons, 1984).

Quelques années plus tard, Schmidt (1975) a optimisé la théorie proposée par Adams. Il avance notamment la notion de programme moteur généralisé, permettant de répondre à toute une classe de tâches. L'expertise ne réside plus dans l'acquisition d'une trace perceptive efficace mais plutôt dans l'adoption du programme moteur généralisé le plus pertinent et surtout en la paramétrisation adéquate de ce dernier. Ainsi, selon Schmidt (1975), sont stockées en mémoire la structure temporelle relative d'une classe de mouvement et les règles de paramétrisation pertinentes. Ici encore, le feedback revêt un intérêt fondamental. Il permet d'asseoir la coordination, et de renforcer le programme moteur généralisé ainsi que les règles

de paramétrisation. Lorsque le sujet réalise une série d'essais, sans feedbacks, il tend à reproduire la même coordination. S'il reçoit un feedback, pour peu qu'il soit négatif, le sujet mettra en place un nouveau mode de coordination (Schmidt, 1988). L'organisme tend à répéter ses réponses positives (Adams, 1978, 1987).

Des études récentes concernant l'utilisation des feedbacks lors de l'acquisition de patrons de coordination bimanuelle ont mis en évidence un effet important du format de ces feedbacks (Swinnen, Walter, Lee & Serrien, 1993; Fontaine et al., 1997; Swinnen, Lee, Verschueren, Serrien & Bogaerts, 1997; Hodges & Lee, 1999; Hodges & Franks, 2001). Lors de l'expérimentation de Hodges et Franks (2001) et celle de Swinnen et al. (1993) sur l'acquisition d'une habileté de coordination bimanuelle à 90° de décalage de phase, des groupes ont été testés selon diverses modalités de feedback. Un feedback décrivant simultanément le mouvement de chacun des oscillateurs sur un même écran était comparé à un feedback de type figure de Lissajous<sup>1</sup>. Le premier type de feedback renvoie selon les auteurs (Hodges & Franks, 2001) à une *prescription* de la coordination. De plus ce type de feedback ne spécifie aucune relation entre les deux oscillateurs. La figure de Lissajous, à l'inverse, renseigne directement sur la coordination entre les deux oscillateurs.

Les résultats de l'expérimentation de Hodges et Franks (2001) indiquent une plus grande efficacité du feedback de type Lissajous. Le feedback «prescriptif» se révèle peu efficace (Swinnen et al., 1993, 1997; Hodges & Franks 2001). L'acquisition motrice semble difficile sous l'influence de ce type de feedback. A contrario, la pertinence du feedback Lissajous était telle que lorsque ce dernier était supprimé, la performance dans l'exécution de la tâche diminuait. Il est intéressant de noter que les feedbacks reçus par les sujets étaient concourants. Dans ce sens, si un retour d'information est pertinent alors la dépendance est d'autant plus grande. La question qu'il convient de se poser est de savoir pourquoi ce feedback est si efficace?

Les diverses expérimentations sur le feedback dans les tâches de coordination bimanuelle permettent d'avoir une meilleure compréhension de l'efficacité d'un retour d'information *on-line*. Il ressort de ces travaux qu'un feedback multidimensionnel semble difficilement utilisable. Le feedback «prescriptif» (ce terme nous semble inapproprié car la prescription est ici allusive) des études précédentes comporte deux degrés de liberté, chacun

---

<sup>1</sup> La figure de Lissajous est une représentation graphique dont l'axe des abscisses représente les mouvements d'un oscillateur et l'axe des ordonnées le mouvement du deuxième oscillateur.

représentant un oscillateur. Le but de la tâche étant de coordonner les deux oscillateurs, les informations données par ce type de feedback exploitent très peu l'information relationnelle. La qualité du feedback de type Lissajous réside d'une part dans sa faible complexité, une seule courbe sur un écran. Cette courbe rend surtout compte du mouvement relatif des deux oscillateurs. Lors de la réalisation d'une coordination bimanuelle à  $90^\circ$  de décalage de phase (il en est de même pour une coordination à  $270^\circ$  de phase relative), le portrait de Lissajous représente un cercle<sup>2</sup>. Dès lors, pour peu que le pratiquant le reçoive directement et sans délai, il est sans équivoque informé de sa prestation. D'autre part, ce feedback renseigne sur la direction de la correction de la coordination mise en place. Si le pratiquant s'éloigne de la coordination requise, cette erreur apparaît immédiatement sur l'écran. Le sujet peut alors entamer une correction de la coordination, et il est instantanément informé de l'effet de la correction. Cette qualité unique et fondamentale explique en grande partie l'efficacité et surtout la dépendance des pratiquants envers cette information.

Ainsi, un feedback renseignant sur le mouvement relatif des oscillateurs et ayant une faible dimensionnalité représente une information en retour hautement efficace. Nous pouvons qualifier cette information d'ordre élevé (au même titre qu'une variable collective représente une variable d'ordre élevé). Un feedback spécifiant le mouvement relatif des oscillateurs dans une tâche de coordination spatio-temporelle représente une information de haut niveau de description de la coordination.

Il est essentiel ici de mettre en relation la nature des variables collectives décrivant la coordination et l'efficacité des feedbacks. En effet, la variable collective rendant compte de la coordination d'un pratiquant dans ce type de tâche, la tâche de coordination bimanuelle, correspond à la phase relative des oscillateurs comme définie précédemment. Or, cette information relationnelle est aussi celle spécifiée par le feedback de type Lissajous mais de façon visuelle et non mathématique. En effet, pour un œil exercé comme celui de l'expérimentaliste, il est relativement aisé de prédire la valeur de la phase relative et celle de la variabilité du patron de coordination exécuté à la seule vue d'une figure de Lissajous décrivant un essai sur la tâche (voir figure 4). Cet exemple met en évidence la puissance informationnelle de cette figure.

---

<sup>2</sup> La différence entre les figures de Lissajous d'un patron de coordination à  $90^\circ$  et d'un patron à  $270^\circ$  réside dans le sens de rotation de la formation circulaire.

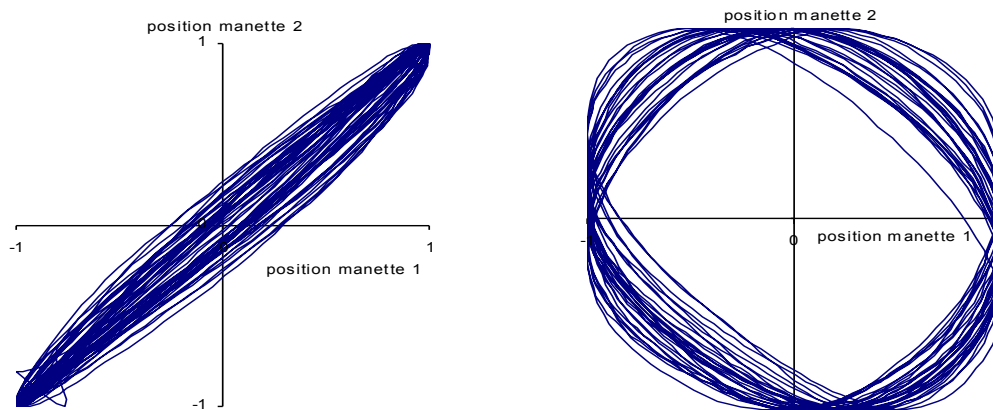


Figure 4: Figures de Lissajous représentant un essai en phase (graphe de gauche,  $m=364.56^\circ$  et  $\sigma=8.21^\circ$ ) et un essai en fin d'apprentissage avec un décalage de phase requis à  $270^\circ$  (graphe de droite,  $m=260.90^\circ$  et  $\sigma=13.69^\circ$ ). Les données de position ont été ré-étalonnées entre -1 et 1 et proviennent de nos données expérimentales d'exploration de la dynamique intrinsèque.

En résumé, un feedback renseignant sur la performance au niveau des composantes, un feedback de relativement faible niveau de description de la coordination, se montre bien moins efficace et utile qu'un feedback décrivant le patron de coordination au niveau collectif. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que cette explication demeure valable en ce qui concerne les informations livrées avant apprentissage.

### 3.2. Les informations avant la pratique et l'acquisition motrice

Les informations prodiguées avant l'acquisition motrice regroupent un ensemble varié de matériel instructionnel. On peut succinctement instruire un apprenant suivant trois modes d'actions. Le premier mode, bien documenté, représente les divers modes de démonstration (modeling), enregistrée (vidéo) ou réelle. Ce mode est étrangement assez controversé au sein du système scolaire mais comme nous allons le voir permet de spécifier le but de la tâche et de renseigner sur le "comment faire" pour résoudre la tâche grâce à la création d'une référence de correction. En second lieu, le matériel instructionnel peut être développé verbalement, dans ce cas on parle de consignes. Enfin, le dernier moyen d'action en possession de l'enseignant avant l'acquisition motrice rassemble les informations de nature écrite (un «manuel» par exemple). Ce type d'information a largement été mis en avant dans de nombreuses études expérimentales mais connaît encore peu d'utilisations dans les séances d'éducation physique et sportive (il en va différemment pour les matières «intellectuelles»), sa logistique étant plus contraignante que celle des autres types d'informations. Sachant que nous n'allons pas

manipuler ce dernier registre instructionnel, il ne nous semble pas nécessaire de l'introduire plus précisément dans la revue de littérature suivante.

D'une manière générale, il est admis que les informations données avant la pratique motrice concernant le "comment faire" facilitent la création d'une "référence de correction" (Carroll & Bandura, 1982; Swinnen, 1996; Hodges & Franks, 2001). Cette référence doit permettre, pour peu qu'elle soit efficace, un dépassement plus rapide des coordinations spontanées. En effet, cette référence de correction correspond théoriquement à la création d'une information comportementale mémorisée susceptible d'attirer la coordination. Elle permet une comparaison continue entre la coordination effectuée et la coordination à réaliser.

Dès lors ce chapitre va s'articuler principalement suivant les deux pôles instructionnels qui nous intéressent. Divers travaux permettant une meilleure compréhension de l'efficacité de la démonstration seront discutés dans la première partie de ce chapitre puis nous aborderons l'efficacité des instructions, le format et les contraintes liées à l'élaboration de nouvelles instructions dans le but de faciliter l'acquisition motrice.

### 3.2.1. La démonstration: une aide à l'apprentissage

L'apprentissage par démonstration a donné lieu à un grand nombre de travaux de recherche. Les premiers furent basés sur les idées de Sheffield (1961) selon lesquelles ce qui est appris à partir d'une démonstration est une séquence de réponses symboliques et perceptives (Blandin, 2002). Tout comme le feedback, la démonstration est cependant prise en compte par différentes théories. La plus répandue et la plus connue reste toutefois la théorie de l'apprentissage social de Bandura (Carroll & Bandura, 1982; Bandura, 1986). Après une revue des deux principales théories spécifiques à la démonstration, dont l'une entre directement en concurrence avec celle de Bandura, nous verrons les différents facteurs structurant la démonstration et pouvant influencer son efficacité.

#### 3.2.1.1. La théorie de l'apprentissage social

La théorie de l'apprentissage social se fonde sur l'observation et l'évaluation de modèles permettant l'adaptation d'un sujet. Tout comme la théorie de Sheffield, elle repose sur le postulat que l'acquisition motrice est médiée par des processus cognitifs (Carroll &

Bandura, 1982). Cette théorie suppose quatre principaux processus sous-tendant l'apprentissage par observation:

- Le processus d'attention: il faut que le sujet observant soit attentif à ce qu'il observe. Dans ce sens, plus le comportement observé est complexe et plus l'observant aura besoin d'aide pour diriger son attention dans le but de percevoir les règles fondamentales régissant la coordination à être apprise. Les instructions prennent ici un intérêt fondamental. Un souci du présent travail était alors d'évaluer et de déterminer les meilleures aides à l'extraction des règles fondamentales d'une démonstration.

- Le processus de rétention: une fois la démonstration donnée, cette dernière doit être mise en mémoire pour être réalisée en son absence. Pour cela, l'information est en partie codée, notamment les aspects les plus fondamentaux de la coordination à être exécutée. Ce codage, autant verbal que visuel permet la création en mémoire d'une représentation du comportement qui a été démontré.

- Le processus de production motrice: ce processus rend compte de la réponse de l'observant qui doit en général réaliser la tâche ou le comportement démontré le plus fidèlement possible. Cette production de réponse est comparée au moyen d'un feedback (intrinsèque ou extrinsèque) à la représentation présente en mémoire. Ici peut apparaître une distinction entre des tâches cycliques et des tâches discrètes. En effet, une coordination discrète est caractérisée par un début et une fin déterminés (lancer de fléchettes, saut en longueur, bowling...). Au contraire, dans une coordination cyclique le début et la fin ne sont pas repérables (natation, course à pied, cyclisme...). Différents travaux théoriques tendent à mettre en évidence qu'une habileté discrète n'est en fait qu'un cas particulier d'habiletés cycliques (Schöner, 1990b). Une particularité de l'habileté cyclique réside dans le fait que la coordination peut être comparée "en direct" avec la représentation de la coordination par le biais des différentes réafférences sensorielles (kinesthésiques, visuelles, auditives). Dans ce sens, selon les théories traditionnelles (Schmidt, 1975), le cycle exécuté peut être comparé à la représentation activée de la tâche à réaliser et peut entraîner une modification de la coordination lors de l'exécution du cycle suivant. Cette régulation pour une tâche discrète ne s'effectue pas dans le même essai mais dans une échelle temporelle plus longue, lors de l'essai suivant.

- Le processus de motivation/renforcement: sans motivation, un observant ne sera pas

apte à percevoir les informations les plus pertinentes d'une démonstration. Cette motivation est fortement liée au statut de l'observateur. Si ce dernier n'est pas acteur de la situation après avoir observé la démonstration (l'observant ne fait que regarder passivement la démonstration), sa motivation risque d'être faible et donc la perception et le codage de la démonstration de piètre qualité.

L'ensemble de la démonstration est transformé et codé. Dans ce sens, la démonstration revêt un rôle informationnel qui permet l'élaboration d'une représentation qui sera ensuite utilisée pour permettre la reproduction de l'action motrice démontrée.

La théorie de l'apprentissage social conçoit le système de mémoire comme une entité unique. Dans ce sens, elle se distingue de la théorie des schémas moteurs de Schmidt (1975). Ce dernier met en avant deux schémas liés à deux systèmes de mémoire spécifiques. Le premier sert à l'initiation et la programmation du geste moteur, le schéma de rappel. Le second est valorisé lors de l'exécution de la coordination, on parle ici du schéma de reconnaissance. Ce dernier est renforcé grâce aux feedbacks (Schmidt, 1988).

La pratique, notamment grâce à la présence de feedbacks, est très importante pour la théorie des schémas. Par contre, pour la théorie de l'apprentissage social, la pratique n'est pas une composante indispensable, la représentation cognitive étant déterminée par les quatre processus sous-tendant la démonstration.

Divers travaux expérimentaux tendent à mettre en avant cette distinction entre les deux systèmes de mémoire. Ainsi, Laugier et Cadopi (1996) ont montré, lors de l'apprentissage d'une séquence de mouvements abstraits et concrets de danse, que leurs participants étaient capables de reconnaître le nombre et l'ordre des mouvements. Par contre lorsqu'il était demandé aux sujets de reproduire la séquence de mouvements, ceux-ci avaient plus de difficultés à réaliser la tâche. Ces résultats mettent en évidence la complexité des systèmes de mémoire. En effet, rappeler des éléments et les reproduire sont deux activités distinctes et liées à des systèmes de mémoire différents.

### 3.2.1.2. La théorie de la perception directe

La théorie de la perception directe est apparue dans les années 80 sous la direction du travail mené par Scully et Newell (1985). Le principal intérêt de cette théorie était de répondre à la question, lacunaire dans les théories de l'apprentissage social de Bandura et des

schémas de Schmidt, de ce qui est perçu dans la démonstration d'une action motrice. Le postulat de base de la théorie de la perception directe repose sur l'hypothèse que l'action est directement perçue sans qu'aucun système cognitif ne traite l'information, la démonstration, pour réaliser l'action. Des invariants sont perçus directement car l'environnement est déjà structuré. L'information perçue pertinente d'une action motrice démontrée définit alors le mouvement relatif des composantes (bras par rapport au tronc, avant-bras par rapport au bras...) et non des caractéristiques spécifiques et isolées comme les positions absolues de chacune des composantes. Ce mouvement relatif des composantes représente l'information invariante de la coordination et est spontanément perçu.

Cette théorie est basée sur les hypothèses évoquées par Turvey (1974) à propos de la perception directe (Gibson, 1966). Elle s'attache à expliquer et mettre en évidence ce qui est perçu plutôt que "comment" les informations sont perçues. Dès lors, les enjeux de cette théorie diffèrent de ceux de la théorie de Bandura ou même de celle de Schmidt car ici le côté qualitatif de l'information contenue dans la démonstration est au centre des recherches. Ce qui est perçu n'est pas une représentation exhaustive du modèle ou de l'action démontrée comme pour la théorie de Bandura mais plutôt un changement d'état, de configuration. Pour la perspective écologique, la notion de temps est centrale et prend une dimension fondamentale. L'exclusion de la structuration temporelle de la coordination, d'un flux visuel, entraîne un déficit de perception du changement de configuration gênant l'observateur, ce changement de configuration étant essentiel, voire nécessaire à la perception. Cette idée de changement et sa validité expérimentale trouvent leur source dans les travaux de Johansson (1973). Cette étude présentait des démonstrations de patrons de coordination telles que la marche, la course à pied, la gymnastique, la danse et l'escalade. La particularité de cette expérience résidait dans le fait que les actions motrices présentées n'étaient pas de simples enregistrements mais le comportement humain était modélisé par le déplacement de points lumineux placés sur différentes articulations du corps. Sans voir un corps humain réalisant l'action motrice mais plutôt une configuration de points lumineux se déplaçant, les participants étaient capables d'identifier l'activité motrice qui leur était présentée sans aucune hésitation. Ces résultats furent confirmés par les travaux de Kozlowski & Cutting (1977) et de Cutting, Proffitt & Kozlowski (1978).

Tout ceci permet d'envisager la perception d'une action motrice ou de tout événement dans l'environnement en termes de changement de configuration, de mouvement relatif des

composantes. La notion de complexité ne revêt plus du tout le même intérêt que pour les théories plus classiques. Pour ces dernières, la qualité de la perception de la démonstration dépend de la complexité de la tâche démontrée, plus une tâche est complexe, dans le sens qu'elle implique un grand nombre de degrés de liberté et plus sa perception est difficile. Par contre, pour la théorie de la perception directe, il n'y a aucune complexité rendant compte de la difficulté à extraire les caractéristiques fondamentales de la coordination mises en valeur dans la démonstration. En effet, sans un minimum de complexité, la coordination démontrée n'est pas efficacement perçue. Si nous reprenons l'exemple de Johansson (1973), il est aisément concevable que la présentation d'une configuration de 2 points lumineux ne permette pas de discriminer ou de percevoir un mode de coordination spécifique. Par contre, la présentation de la coordination de points lumineux suffisamment nombreux (définissant au minimum le mouvement relatif des principaux oscillateurs) permet la perception de l'action démontrée. La complexité représente alors un facteur facilitant la perception car elle est présente dans toutes les situations écologiques, les tâches simples étant seulement des artéfacts de laboratoire.

Toutes ces données permettent de mettre en évidence le rôle de la démonstration et le problème relatif à l'observateur. Ainsi, l'objectif de l'apprenant observant une démonstration dans le but de la reproduire est de "coordonner le corps pour reproduire le mouvement relatif observé et d'étalonner le mouvement relatif de façon appropriée" (Scully & Newell, 1985, p.181). Ces deux activités spécifiques connaissent une échelle temporelle différente. Ainsi, l'activité de l'observateur débute par l'identification du mouvement relatif des composantes du corps. L'acquisition de cette information relationnelle rend compte de la qualité de la modélisation de la démonstration. Ensuite, ce mouvement relatif est paramétré en prenant en compte les composantes de force et d'effort requis. Cette paramétrisation devient alors spécifique au sujet rendant compte de ses qualités anatomiques et morphologiques. Le mouvement relatif des composantes du corps reste hautement stable d'un individu à un autre; toutefois, le mouvement absolu devient une caractéristique individuelle différenciant chaque être humain.

Après avoir mis en évidence les concepts et les spécificités de ces deux théories de l'observation nous allons voir quelles contributions elles ont apporté à la compréhension des effets de la démonstration et notamment quels sont les principaux paramètres à ne pas négliger dans l'élaboration de démonstrations.

### 3.2.1.3. Quelques facteurs influençant l'efficacité de la démonstration

Les deux théories ont motivé de nombreux travaux expérimentaux qui ont notamment permis de mieux comprendre l'efficacité d'une démonstration (Martens, Burwitz & Zuckerman, 1976; Gould & Weiss, 1981; Mac Cullagh & Caird, 1990; George, Feltz & Chase, 1992; Hebert & Landin, 1994).

La première question importante, principalement liée à la théorie de Bandura, renvoie au niveau d'expertise de "l'acteur" démontrant la coordination à réaliser. Cette question n'a pas reçu une validation tranchée et les travaux actuels ne permettent pas de mettre en évidence un effet différencié du niveau d'expertise du modèle sur l'apprentissage. Intuitivement, on pourrait penser que la présentation d'un modèle expert permette d'acquérir une représentation d'autant plus précise et efficace de la tâche à réaliser. Cependant, les travaux de Martens et al. (1976) ne mettent en évidence aucune supériorité d'une démonstration correcte comparée à une démonstration réalisée par un sujet apprenant. Par contre, il semblerait qu'il soit important de montrer un modèle correct lorsque le mouvement correct est une composante importante de la tâche. A partir de ce travail et de la théorie d'Adams (1971), de nouveaux travaux ont vu le jour. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, pour la théorie de la trace perceptive et celle des schémas, le feedback revêt une importance fondamentale. Il devient alors indispensable d'informer le sujet de la performance du modèle. Ainsi, Adams (1986) propose de manipuler à la suite de la démonstration la connaissance de la performance du modèle présenté. Les résultats mettent en évidence un léger avantage pour la présentation du modèle associée à une connaissance de la performance de ce dernier. Mac Cullagh et Caird (1990) ne confirment pas ces résultats ne montrant aucun avantage lié au niveau d'habileté du modèle et même, dans cette étude un groupe recevant un modèle apprenant sans connaissance du résultat de ce dernier n'était pas défavorisé. Ces résultats sont confirmés par Hebert et Landin (1994) montrant finalement qu'un modèle apprenant peut aussi être un excellent moyen pour favoriser la construction d'une bonne représentation. En effet, lors de l'observation d'un modèle apprenant l'observateur ne voit certes pas une coordination parfaite mais cela permet de mettre en évidence les erreurs possibles et d'envisager des moyens de remédiation particulièrement si cette démonstration est accompagnée d'informations sur le mouvement démontré.

Un autre facteur influençant la qualité de la représentation est la similarité du modèle. L'observateur s'identifie-t-il au modèle qui lui est présenté? Gould et Weiss (1981) ont étudié

la performance de femmes lors de l'exécution d'une tâche d'endurance après avoir vu un modèle masculin ou féminin sportif. Les femmes recevant le modèle féminin présentaient une performance supérieure à celle des femmes regardant un modèle masculin. Toutefois, le niveau d'habileté reste la variable la plus importante de la démonstration (George, Feltz & Chase, 1992).

Ces deux précédents facteurs influençant l'efficacité de la démonstrations, ont favorisé l'émergence de récentes études combinant pratique motrice et démonstration (Shea, Wulf & Whitacre, 1999; Shea, Wright, Wulf & Whitacre, 2000). Ces deux études posaient entre autres la question de l'efficacité de l'apprentissage par binôme. Ce genre d'apprentissage observationnel renvoie à une situation écologique et interroge sur la capacité d'apprenants à acquérir une habileté mêlant la pratique physique et l'observation d'un autre apprenant au même stade d'apprentissage. Les résultats mettent en évidence la supériorité de ce type de situation par rapport à une situation de pratique motrice seule (Shea, Wulf & Whitacre, 1999). Aussi, les effets positifs indirects tels l'augmentation de la motivation, la fixation de but élevé induisent une meilleure performance même lorsque la phase d'apprentissage est terminée. Cependant, Wright, Wulf & Whitacre (2000) insistent sur le fait que l'observation seule ne peut remplacer la pratique motrice. Lors de l'apprentissage d'un jeu vidéo, les sujets pratiquant présentaient de meilleures performance que ceux n'ayant qu'une activité d'observation excepté dans une situation de transfert. Par ailleurs, un mixage observation/pratique semble être la situation la plus propice lors d'un exercice de transfert (Wright, Wulf & Whitacre, 2000).

Aussi, lorsque l'action démontrée représente la finalité de la tâche, il est intéressant de noter qu'un modèle très stable et précis permet une meilleure perception de la coordination démontrée (Zaal, Bingham & Schmidt, 2000). Zaal et al. (2000) étudiaient la perception d'une coordination de deux points oscillants sur un écran manipulant la stabilité et la précision du décalage de phase de cette coordination entre ces deux oscillateurs. Les résultats indiquaient que les modes de coordinations que sont les coordinations démontrées en phase et en anti-phase sont difficilement perçues lorsque la démonstration présente une certaine instabilité. Aussi, le mode de coordination à 90° était le plus difficile à percevoir, sa perception étant très sensible à la stabilité de la représentation. Cette étude met en évidence que la perception d'une coordination dite "repellante" (dans le sens de la théorie dynamique) ou non acquise est sensible et doit être démontrée de manière précise et stable.

Il existe d'autres facteurs influençant l'efficacité du modeling, comme la relation entre le type de pratique, bloquée ou randomisée et la démonstration (Blandin, Proteau & Alain, 1994), le temps entre la démonstration et la mise en activité de l'observateur, l'angle de vision de la démonstration sont autant de facteurs susceptibles d'influencer également son efficacité (voir Mac Cullagh & Weiss, 2001) mais il nous semble que ceux détaillés ici représentent dans notre cas les plus essentiels à l'élaboration d'une démonstration efficace.

### 3.2.2. Les instructions sur le "comment faire"

Des études concernant les instructions sur le mouvement à exécuter mettent en évidence que ces dernières ne sont pas efficaces voire dégradent le processus d'apprentissage (Green & Flowers, 1991; Wulf & Weigelt, 1997). Comme nous l'avons vu dans une section précédente, il semble que cet échec soit en partie dû aux caractéristiques des tâches utilisées.

Les études que nous allons décrire mettent en évidence la dichotomie entre l'apprentissage implicite et l'apprentissage explicite. La manipulation des instructions permet d'induire une situation d'apprentissage spécifique. L'apprentissage implicite renvoie à une situation dans laquelle l'acquisition des connaissances permettant de résoudre la tâche s'obtient sans qu'aucun effort conscient ne soit réalisé. Par opposition, une situation d'apprentissage explicite demande au sujet de résoudre la tâche consciemment en cherchant à contrôler les différentes variables de la tâche (Green & Flowers, 1991). Donner des instructions sur le «comment faire» induit inévitablement une situation explicite. Aussi, cette situation est dépendante des contraintes liées à la tâche comme nous l'avons mis en avant précédemment. Plus les contraintes liées à la tâche sont faibles, plus le sujet aura besoin d'instructions pour diriger sa recherche d'une solution motrice efficace. Pour une tâche contraignante, l'apprentissage implicite peut paraître tout aussi efficace, ce qui semble d'ailleurs être le cas dans les deux études que nous allons étudier. Cependant, nous avons bien mis en avant que notre attention portera plus particulièrement sur les aides à la résolution de tâches peu contraignantes.

L'étude de Green et Flowers (1991) permet de mieux comprendre le manque d'efficacité des instructions. Cette étude comparait un apprentissage explicite à un apprentissage implicite. Les deux situations étaient manipulées par l'adjonction d'instructions. La tâche requise était d'attraper une balle virtuelle qui tombait sur un écran à l'aide d'une "raquette" dirigée au moyen d'un joystick. Les instructions informaient sur la probabilité de

trajectoire de la balle en fonction d'un accident de trajectoire. Cette étude entrait dans la lignée de celles de Brooks (1978) concernant l'aspect qualitatif des instructions (renseignement sur la probabilité d'occurrence d'un évènement). Les travaux de Brooks (1978) et de Reber (1976, 1989) mettent en évidence que les instructions sur les probabilités d'apparition d'un évènement sont inefficaces et surtout peuvent dégrader le processus d'apprentissage. En effet, le fait de donner des instructions permettant au sujet d'établir des règles concernant la tâche crée une tâche d'interférence alors que le sujet a déjà à réaliser la tâche principale. Nous n'épiloguerons pas sur le paradigme de la double tâche (Abernethy, 1988). Cependant, une double tâche peut entraver tout processus de contrôle moteur et à plus long terme d'apprentissage. Les résultats de Green et Flowers (1991) vont dans le sens de ces hypothèses. En effet, les sujets recevant les instructions atteignent de moindres niveaux de performance.

Une spécificité de cette étude résidait dans le fait qu'elle analysait d'une part l'erreur, comme classiquement, mais aussi le mode de coordination engagé dans la résolution de la tâche. A l'approche de la balle, des sujets recevant les instructions montraient une plus grande variabilité de la trajectoire de la raquette. Ce résultat suggère que les instructions ont placé les sujets en surcharge cognitive et attentionnelle. L'ensemble des résultats permet d'interpréter leur efficacité et doit aider à la construction de nouvelles consignes plus efficaces. En effet, les informations utilisées dans cette étude ne portaient aucunement sur le mode de coordination à adopter. Mais surtout la résolution de la tâche n'était pas aidée par les instructions, celles-ci dirigeant l'attention sur l'occurrence d'un évènement qui n'informait pas à 100% sur la trajectoire future de la balle. De plus, le type de tâche ne se prédestinait pas à la mise en évidence de l'efficacité des instructions. En effet, la situation requérait un contrôle *on-line* de la coordination, et le sujet était donc en permanence renseigné sur l'écart à la cible un peu comme... par une figure de Lissajous. Dès lors, la coordination elle-même renseignait sur la trajectoire à adopter. La tâche était donc contraignante et comme nous allons le voir et le mettre en évidence dans l'expérimentation menée par Wulf et Weigelt (1997), ce type de tâche ne permettait pas réellement la mise en valeur des instructions.

Plus récemment, Wulf et Weigelt (1997) ont souligné l'influence néfaste des instructions. Dans cette expérimentation, la tâche se différenciait de celle de Green et Flowers en terme de complexité de coordination. Il était demandé aux sujets de réaliser des oscillations sur un simulateur de ski. Cette étude est intéressante de par les nombreux degrés de liberté engagés dans la tâche, et de par les instructions employées. Ces instructions requéraient de

forcer sur la plate-forme du simulateur seulement lorsque celle-ci avait passé le milieu de l'appareil. Ce moment de forçage permet d'utiliser les forces réactives du simulateur et notamment d'utiliser l'énergie potentielle contenue dans les bandes élastiques du dispositif. Les travaux de Vereijken et Whiting (1990) avaient mené Wulf et Weigelt à faire l'hypothèse qu'une situation de découverte de la dynamique de la tâche était plus favorable à l'apprentissage qu'une situation instructionnelle. Deux expériences furent menées, la première avec les instructions données dès le premier essai et la seconde dans laquelle les instructions n'étaient données qu'au milieu de la dernière session. Les résultats indiquaient l'inefficacité des instructions concernant le moment de forçage du simulateur. Les instructions désavantageaient clairement les sujets qui les recevaient, par rapport à un groupe contrôle réalisant un apprentissage par découverte. Les effets désavantageux des instructions sont retrouvés, quoique à un degré moindre, lorsque ces dernières sont données après un temps conséquent de pratique. De plus, les sujets recevant les instructions, présentaient une baisse de la performance lorsqu'ils étaient placés dans une situation de stress, baisse non retrouvée chez les sujets en situation de découverte, mettant en évidence la fragilité de l'apprentissage par instructions. Ces divers résultats indiquent que les instructions semblent détériorer le processus d'apprentissage lorsque les tâches impliquées sont hautement complexes.

On peut proposer une interprétation de ces résultats en terme de contraintes de la tâche et notamment de stratégie d'exploration de l'espace perceptivo-moteur. En effet, la tâche d'oscillation sur simulateur de ski est une tâche contraignante dans le sens où l'exploration de l'espace perceptivo-moteur est spontanément dirigée vers l'unique solution motrice efficace. Les travaux de Delignières et al. (1999) et Nourrit et al. (sous presse) mettent en évidence lors de l'apprentissage de cette même tâche sur une longue période que tous les sujets adoptent avec la pratique le même mode de coordination, et ce sans aucune spécification environnementale. Dès lors, il devient aisé de comprendre qu'une instruction peut se montrer inefficace pour faciliter l'acquisition motrice. Il convient de noter que lors de l'expérimentation de Wulf et Weigelt, le groupe «instruit» recevait plus d'informations que le groupe ne recevant que des informations concernant la performance recherchée en terme d'amplitude et de fréquence d'oscillation. Ainsi, il est possible que les sujets "instruits" soient dès le début de la pratique en situation de stress. Hodges et Franks (2001) émettent l'hypothèse que le fait de donner un trop grand nombre d'informations rend le but de la tâche peu clair et place ainsi les sujets dans une situation stressante. Les sujets devaient réaliser des oscillations amples, à une certaine fréquence, en même temps devaient faire attention à forcer

au bon moment et au bon endroit. La confrontation à une situation nouvelle place déjà les sujets dans une situation atypique stressante. Donner de nouvelles informations renforce d'autant plus ce stress. Les sujets instruits sont alors défavorisés, ce que l'on retrouve dans l'expérimentation de Wulf et Weigelt. Les apprenants sont face à un système d'exigences simultanées, et sont dans l'impossibilité de répondre à tous les critères qui leur sont présentés. Les objectifs d'amplitude et de fréquence peuvent alors être retenus prioritairement au profit de l'objectif de la coordination (i.e.: forcer au bon endroit) or il semble clairement que l'objectif des auteurs est l'adoption d'un mode de coordination type: forcer au bon endroit. Ainsi, les résultats allant à l'encontre de cette coordination cible semblent négatifs et même entraînent une mauvaise définition du but principale de la tâche. Cette étude ne permet cependant pas de répondre de manière satisfaisante à cette hypothèse de part le manque d'analyse de la coordination. Les hypothèses de surcharge informationnelle et de manque de clarté du but semblent renforcées par le fait que seuls les sujets instruits présentaient une baisse de la performance lorsqu'ils étaient placés dans une situation de stress. Une partie du présent travail était destinée à mettre en évidence les effets de la quantité d'information donnée avant pratique. Nous nous appuyerons sur les travaux de Wulf et de Hodges pour tenter d'étayer et répondre à cette question sur l'influence d'une surcharge informationnelle sur l'acquisition motrice.

### 3.2.3. Les instructions multimodales

Après avoir fait un bref tour d'horizon des recherches concernant les informations avant pratique de type instruction et démonstration, il convient d'analyser l'effet de la conjonction des différents types d'informations avant pratique. Cette approche multimodale a surtout été appréhendée en terme de dessins, photos ou démonstrations associés à un texte pour faciliter l'apprentissage (Van der Meij & Gellevij, 1998). L'intégration de plusieurs modes de transmission d'informations est sensé faciliter l'apprentissage comparé à une approche unimodale. Cette hypothèse a particulièrement été validée dans des tâches cognitives (Mayer & Gallini, 1990, Mayer, Moreno, Boir & Vagge, 1999).

Les raisons invoquées concernant l'efficacité de ce mode de transmission de l'information sont liées à la théorie du double codage. L'apprentissage est facilité lorsque des informations verbales ou écrites et des informations de nature visuelle sont combinées. La mémoire de travail est définie par deux systèmes distincts: le système verbal et le système non verbal. En utilisant simultanément les deux systèmes on favorise l'acquisition d'informations.

La connexion entre ces deux systèmes de mémoire induit la construction d'un modèle mental puissant et attractif (Paivio, 1990; Mayer, 1999). Il convient ainsi de prendre en compte tous les modes possibles de transmission de l'information dans le but de favoriser la construction d'une information comportementale mémorisée puissante et efficace.

Parallèlement, la théorie de la surcharge cognitive met en avant le caractère défavorable des instructions multimodales. En effet, présenter la même information sous deux formats différents entraîne une redondance qui crée une surcharge. Cet effet est d'autant plus grand que la tâche est difficile. Toujours selon la théorie de la surcharge cognitive, les instructions multimodales entraînent un partage de l'attention défavorisant le processus d'apprentissage (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1994; Sweller & Chandler, 1994). Lorsque l'apprenant est confronté à de multiples sources simultanées d'informations, il en résulte un partage de l'attention dégradant l'apprentissage.

Un travail a permis de confronter la viabilité de chacune de ces théories lors de l'apprentissage de l'utilisation d'un programme informatique (Gellevij, Van der Meij, De Jong & Pieters, 2002). L'expérimentation mettait en concurrence des élèves recevant un manuel accompagné de schémas expliquant le programme à des élèves recevant le manuel sans aucun schéma. Les élèves recevant le manuel et les schémas ont appris plus rapidement et plus aisément à se servir du programme informatique. Ces élèves ne furent donc pas caractérisés par la surcharge cognitive envisagée par la théorie dont la prédiction dérive. La théorie du double codage semble être la plus à même d'expliquer et de prédire les effets d'instructions multimodales. Il en résulte un bénéfice conséquent pour ce type d'approche comparé à la présentation d'un texte seul ou de schémas isolés. Toutefois, il convient de prendre en compte les effets positifs de la double présentation modale de l'information seulement si l'information pertinente n'est pas facilement accessible (Chandler & Sweller, 1991). Lorsque le dessin ou le schéma est largement compris seul, donner des informations supplémentaires comme un texte explicatif dégrade la performance et l'apprentissage. Nous pouvons ainsi penser que si un schéma, ou une démonstration à eux seuls ne permettent pas l'extraction des informations fondamentales alors l'utilisation d'informations verbales et visuelles doit faciliter la perception de ces informations fondamentales comme le mouvement relatif.

#### **4. Les informations prodiguées avant l'apprentissage moteur: une nouvelle perspective**

Tous ces résultats expérimentaux et ces théories permettent de jeter un nouveau regard sur les instructions. Globalement les résultats expérimentaux, notamment sur les instructions définissant le "comment faire", ne mettent guère en évidence un bénéfice lié à leur emploi. Toutefois, nous avons mis en évidence que leur efficacité est majoritairement liée au type de tâche utilisé. Plus une tâche est contraignante et plus l'apprentissage par découverte est efficace. Cette stratégie mise en avant par Vereijken et ses collaborateurs (Vereijken & Whiting, 1989, 1990; Vereijken, 1991; Vereijken, Whiting & Beek, 1992; Vereijken, Van Emmerick, Bongardt, Beek & Newell, 1997) est donc dépendante de la tâche. Or d'un point de vue écologique, il existe une multitude de tâches dont la recherche de la ou des solutions motrices efficaces n'est pas biomécaniquement et informationnellement dirigée. Pour ce type de tâche nous nous proposons ici d'étudier et de mettre en évidence les qualités requises à une instruction dans le but de favoriser l'apprentissage moteur. Nous étudierons ainsi l'effet d'informations avant pratique lors de l'acquisition d'une habileté de coordination bimanuelle.

Tout au long de ce travail, les sujets ont eu à apprendre une coordination bimanuelle avec un décalage de phase de  $270^\circ$ . Le cadre théorique et les résultats étant identiques à ceux de l'apprentissage d'une coordination à  $90^\circ$  de phase relative, l'apprentissage sera conçu comme un dépassement des modes de coordination préférentiels que sont la coordination en phase et la coordination en anti-phase. La tâche requise dans ce mémoire était donc largement documentée. Toutefois, les différents travaux recensés se différencient du nôtre de par certaines contraintes spécifiques. En effet, dans toutes les tâches utilisées, excepté celle de Yamanishi et al. (1980), une information comportementale environnementale ou une aide de type feedback concourant étaient ajoutées pendant la pratique motrice. Les sujets pouvaient contrôler et comparer à tout moment de la coordination leur performance à la cible. De plus, ces aides à l'apprentissage permettaient de se renseigner sur comment corriger une erreur de coordination. Ces aides, contraignant le sujet, n'ont pas permis de mettre en évidence un réel bénéfice des informations avant pratique (Hodges & Franks, 2001). Il nous est apparu donc nécessaire de diminuer le niveau des contraintes liées à ce type de tâche et d'éviter toute spécification de la coordination à réaliser durant l'acquisition motrice. Ainsi, la tâche ne pouvait être réalisée qu'en activant une information comportementale mémorisée comme définie dans la première partie de l'introduction. Nous n'avons ainsi prodigué aucun retour d'information ni aucune spécification du mode de coordination requis pendant la pratique. Pour maintenir la fréquence d'oscillation, maintenant un niveau de contrainte temporel équivalent tout au long de l'apprentissage, nous avons spécifié la fréquence requise au moyen

d'un métronome auditif cadencant les oscillations requises pour un seul des deux oscillateurs (l'oscillateur main gauche). La pertinence des informations avant pratique mises en place était étudiée au moyen de la mesure indirecte de l'information comportementale mémorisée de chaque sujet. Cette mesure indirecte passait par l'évaluation de l'erreur et de la stabilité des modes de coordination engagés.

La question centrale de ce mémoire était donc de mettre en lumière les qualités requises à une instruction favorisant l'apprentissage moteur. Ce travail était d'autant plus critique que les études récentes tendaient à démontrer l'inefficacité des instructions et à mettre en avant les qualités et le bénéfice de l'apprentissage par découverte. Toutefois, comme nous l'avons discuté antérieurement la construction des instructions et les tâches servant de support à leur étude lors des expérimentations antérieures ne nous semblaient pas appropriées.

Dès lors, nous nous proposons de mettre en place et de valider un nouveau cadre d'analyse et de construction des informations données avant la pratique. Les travaux menés sur les feedbacks lors de l'acquisition d'une coordination bimanuelle et ceux liés à la théorie de la perception directe nous permettent de jeter un nouveau regard d'un point de vue qualitatif sur les instructions. En particulier, ces résultats vont nous permettre de définir les paramètres de coordination à prendre en compte pour les instructions. Les travaux relatifs à la figure de Lissajous dans l'apprentissage d'une coordination bimanuelle mettent en évidence son remarquable potentiel. La principale explication réside dans sa faculté de décrire le mouvement relatif de façon simple (une seule dimension) et exhaustive. Le graphe décrit par la figure de Lissajous rend compte au plus haut niveau de description de la coordination exécutée.

La théorie de la perception directe met elle aussi en avant l'importance de cette information relationnelle entre les différentes composantes. Cette théorie s'intéresse aux aspects qualitatifs perçus dans une démonstration. La notion centrale de cette théorie est le mouvement relatif. Les différents travaux théoriques et expérimentaux tendent à confirmer cette idée. Il existe donc un parallèle entre la perception et le feedback. Le but de la démonstration et du feedback est de déterminer et de spécifier le mouvement relatif, information de haut niveau de description. La théorie de la perception directe met largement en avant le côté "dynamique" dans la perception d'une démonstration, le mouvement en tant que changement de configuration à travers le temps. Les travaux de Al-Abood et al. (2001a et b) confirment cette idée. En effet, contrairement à la théorie de l'observation de Bandura qui

défini l'activité de l'observant comme une activité de création exhaustive d'une représentation de la coordination, ici une seule information est perçue, le mouvement relatif des composantes. Dans ce sens, Scully et Newell (1985) conçoivent que ce mouvement relatif ne se définit aucunement par une décomposition de la tâche à réaliser en excluant tout continuum temporel. Dès lors, une démonstration de la tâche à réaliser sans structure temporelle, sans spécification du mouvement, serait défavorable. Cette dernière spécifiant les positions relatives des différentes composantes serait peu efficace et ne permettrait pas la perception du mouvement relatif, entraînant une performance de faible niveau.

La structuration temporelle de l'information incluse dans une instruction rentre ici en considération. Nous pouvons lier cette structuration temporelle au niveau de description de la tâche. En effet, la configuration spatiale relative des composantes est importante mais elle l'est tout autant que la configuration temporelle de cette relation. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse qu'une information avant pratique ne spécifiant pas le mouvement relatif n'est pas réellement efficace. Dans ce sens, plus l'information décrit à un haut niveau la tâche à réaliser plus celle-ci sera efficace. Cette hypothèse et plus particulièrement celle de la structuration temporelle de l'information a été étudiée dans la première étude de ce travail. Cette première expérimentation a ainsi porté sur l'aspect qualitatif de l'information donnée avant l'acquisition motrice. Deux types d'informations étaient ainsi mis en concurrence. La première information définissait le mouvement relatif requis des deux oscillateurs. L'instruction utilisée devait mettre en évidence le décalage entre les oscillations du membre gauche par rapport à celles du membre droit. Cette information décrivant le mouvement relatif représentait une information de haut niveau de description de la tâche à réaliser. Opposée à celle-ci, l'information ne mettant pas en évidence la structure temporelle du mouvement se définissait par une décomposition pas à pas de la tâche à réaliser. Les sujets visionnaient une séquence de 5 «captures d'écran» décrivant consécutivement la tâche à réaliser. Ces "arrêts sur image" étaient pris en compte seulement lorsqu'une des deux manettes était positionnée à un point de revirement. Ces deux instructions se différenciaient donc par le fait que la première, l'information de haut niveau de description, définissait le mouvement relatif des oscillateurs et que la deuxième, la décomposition, définissait la position relative des oscillateurs. Ainsi, en supprimant la structuration temporelle, l'information de faible niveau de description ne spécifiait aucun réel mouvement. Nous pouvons ainsi émettre l'hypothèse que l'information de haut niveau de description de la tâche à réaliser va permettre l'activation d'une information

comportementale plus puissante et plus précise que l'instruction de faible niveau de description.

Dans une deuxième expérimentation au terme d'une analyse de la littérature, nous avons soulevé les questions relatives la quantité et la qualité d'information. Il est aisé de penser que l'apprentissage moteur est favorisé en donnant un maximum d'information. Récemment, cette hypothèse a été contredite mettant en évidence que le fait de donner un maximum d'information peut rendre le but de la tâche peu clair et induire une situation stressante peu propice à l'acquisition motrice. Aussi, dans cette deuxième étude, nous avons confronté un groupe de sujets recevant un maximum d'informations à propos de la tâche à réaliser à un groupe recevant une analogie décrivant le mouvement relatif. Ce type d'instruction représentant un pont entre le langage et l'action, que nous allons définir dans la deuxième partie de ce manuscrit, doit permettre de générer dès les premiers essais une information comportementale capable de "lutter" efficacement contre la dynamique intrinsèque.

Enfin, une dernière étude a été mise en place dans le but de mettre en opposition les deux instructions utilisées dans les deux études précédentes qui nous semblaient les plus favorables à l'acquisition motrice aux vues de nos résultats expérimentaux. Une particularité de cette étude résidait dans le fait que les sujets ne recevaient aucun retour d'information augmentée. Ainsi nous avons confronté deux types d'informations dans une situation ouverte, dont le but de la tâche n'était spécifié que par les instructions.

# **Expérience 1: Etude de l'effet du niveau de description de la tâche à réaliser**

## **1. Introduction**

Cette première étude sur les instructions avait pour but de déterminer les facteurs essentiels favorisant l'acquisition d'une coordination bimanuelle. Comme il a été indiqué en introduction nous avons tenté de mettre en compétition deux types d'instructions. D'un côté nous avons prodigué une instruction de haut niveau de description de la tâche à réaliser, et de l'autre, une instruction d'un niveau plus faible (instruction de décomposition de la coordination à réaliser). De plus, nous avons mis en place un troisième groupe qui ne recevait aucune consigne. Nous faisons l'hypothèse que l'instruction de haut niveau de description devait permettre un dépassement plus précoce des modes de coordination spontanés lors de l'apprentissage d'une habileté bimanuelle à 270° de phase relative de par le fait qu'elle spécifiait le mouvement relatif des oscillateurs, information qui nous semblait fondamentale. Ce dépassement devait se traduire par une stabilisation plus précoce et une erreur moindre des patrons de coordinations réalisés. Enfin, le niveau moindre des contraintes pour le groupe ne recevant aucune instruction devait entraîner une plus grande variabilité des patrons exécutés. Conformément au rationnel évoqué dans l'introduction, nous faisons l'hypothèse que le choix de notre tâche et de notre protocole expérimental induisait une tâche en soi très peu contraignante: de ce fait les instructions devaient représenter une aide déterminante à l'apprentissage.

## **2. Méthode**

22 sujets droitiers ont pris part à cette expérimentation (9 femmes et 13 hommes, ajoutés à ce contingent 4 sujets exclus présentant une dynamique de coordination tri-stable, âge moyen des sujets en étude "intégrale": 23.4 ans +/-2.8). Ils n'avaient aucune expérience préliminaire sur l'acquisition d'une habileté de coordination bimanuelle. Ces sujets étaient tous volontaires et ont participé gratuitement à l'ensemble de l'expérimentation. Aucun ne présentait d'expertise spécifique susceptible de favoriser l'acquisition d'une coordination bimanuelle (jonglage, percussions...). Avant le début de l'expérience, les sujets étaient placés

dans l'un des trois groupes expérimentaux de façon randomisée (8 sujets pour le groupe recevant la simulation, et 7 sujets pour les deux groupes recevant les diverses instructions).

### 2.1. Description générale de la tâche de coordination bimanuelle et du matériel

Les sujets devaient réaliser une tâche de coordination bimanuelle. Ils étaient placés debout face à une table sur laquelle des manettes en bois de 15 cm de hauteur étaient disposées. Ces manettes pouvaient osciller dans un plan frontal, autour d'un axe situé à leur base. Lorsque les participants oscillaient les manettes, le coude devait représenter un angle droit. Cet ajustement était rendu possible grâce à l'utilisation de cales disposées sous les chaussures des sujets permettant de régler leur hauteur par rapport à la table. La distance entre les manettes était individualisée de manière à correspondre à la largeur des épaules. Le mouvement de chacune des manettes était enregistré au moyen de potentiomètres (Bourns 6639S) mesurant la position angulaire à une fréquence d'acquisition de 100 Hz. Le matériel était calibré au début de chaque session. Les données étaient recueillies via une carte d'acquisition sur un ordinateur Pentium 66 (Dell).

Durant l'ensemble de ce travail, il était demandé aux participants de réaliser des oscillations selon une amplitude de 45° de part et d'autre de la position verticale en débutant chaque essai les manettes verticales. Il était aussi demandé de réaliser des oscillations régulières et stables tout au long de chaque essai. Les sujets étaient informés avant le début de chaque série d'essais de leur nombre et de leur durée. Ces différents impératifs étaient présentés par écrit. Après lecture, il leur était proposé de poser toute question permettant une compréhension totale des contraintes de la tâche.

L'expérimentation durait 4 jours avec un maximum d'un jour de repos entre chaque session. Une session supplémentaire de rétention était organisée entre 8 et 10 jours après le dernier jour de pratique. La première journée était caractérisée par une session de familiarisation suivie d'une exploration de la dynamique intrinsèque et d'une session de pratique. Ces différentes phases sont décrites plus précisément dans les sections suivantes. Ensuite, lors de la deuxième et de la troisième session, seule une session de pratique était réalisée. Lors du dernier jour d'acquisition, les sujets pratiquaient une session de pratique suivie d'une exploration de la dynamique intrinsèque et de trois essais de rétention. Au terme de cette session, un entretien était réalisé au cours duquel il était demandé aux sujets s'ils

utilisaient ou non les informations qui leur avaient été données. Enfin la session de rétention était caractérisée par une exploration de la dynamique intrinsèque suivie de l'exécution de 3 essais consécutifs de rétention. Lors des sessions de rétention immédiate et retardée les sujets ne recevaient aucune information telle que la démonstration ou les aides données pendant la pratique.

## 2.2. Procédure

La procédure générale de l'expérimentation est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 1) et est ensuite repris dans les sous-parties suivantes.

Session 1	Familiarisation à la tâche Phase et anti-phase	Exploration de la dynamique intrinsèque (0°→180°)	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)
Session 2	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)		
Session 3	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)		
Session 4	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)	Exploration de la dynamique intrinsèque (0°→180°)	Rétention immédiate: 3 essais sans retour d'information
Session de rétention	Exploration de la dynamique intrinsèque (0°→180°)	Rétention: 3 essais sans retour d'information	

*Tableau 1: Tableau récapitulatif des sessions expérimentales.*

### 2.2.1. Familiarisation avec la tâche de coordination bimanuelle

Les sujets devaient réaliser 4 essais de 30 s en coordination en phase (contraction simultanée des muscles homologues) à une fréquence d'oscillation de 1 Hz cadencée par un

métronome auditif, suivis de 4 essais en coordination en anti-phase (contraction alternée des muscles homologues). Durant ces essais, les sujets devaient se familiariser avec le dispositif et les contraintes de la tâche en termes d'amplitude, d'homogénéité, de fréquence et de synchronisation avec le bip auditif. Cette synchronisation s'effectuait avec la pronation maximale des mains pour la phase (selon les critères d'amplitude établis préalablement) et la pronation de la main gauche/supination de la main droite pour la coordination en anti-phase. Lorsque ces contraintes n'étaient pas respectées, l'expérimentateur en informait le sujet jusqu'à ce qu'une correction efficace et consistante de l'erreur apparaisse.

### 2.2.2. Exploration de la dynamique intrinsèque

Cette exploration revêtait un caractère fondamental à plusieurs titres. Tout d'abord, elle témoignait des régimes de stabilité de chacun des sujets et permettait d'évaluer les capacités pré-existantes de chaque sujet avant l'apprentissage (Kelso & Zanone, 2002). Seuls des sujets caractérisés uniquement par une stabilité des patrons de coordination en phase et en anti-phase ont été inclus dans l'étude dans le but d'éviter tout phénomène de transfert facilitant l'acquisition motrice. La détection d'un régime tri-stable entraînait l'exclusion de l'expérimentation. Cette exploration permettait donc de rendre compte de l'homogénéité des groupes avant traitement.

Pour cette exploration, il était demandé aux sujets de réaliser 7 essais consécutifs randomisés de 30 s avec des décalages de phases spécifiques ( $180^\circ$ - $210^\circ$ - $240^\circ$ - $270^\circ$ - $300^\circ$ - $330^\circ$ - $360^\circ$ ) à une fréquence d'oscillation de 1 Hz. Chaque essai était suivi de 30 s de repos. La phase relative requise était spécifiée par deux métronomes auditifs propres à chacun des deux oscillateurs (un bip aigu cadencant les oscillations de la main de gauche et un bip grave les oscillations de la main de droite). Un seul métronome, comme dans la phase de familiarisation, spécifiait les coordinations en phase et en anti-phase.

Il est intéressant de noter que nous avons exclu 4 sujets caractérisés par une dynamique de coordination tri-stable avec une stabilité à  $270^\circ$  et aux abords de ce mode de coordination. Pourtant les sujets (à l'exclusion d'un percussionniste que nous avons essayé d'inclure par curiosité), ne présentaient aucun vécu dans des tâches susceptibles d'influencer la dynamique d'acquisition d'une habileté bimanuelle. Ces exclusions nous montrent que l'exploration de la dynamique intrinsèque représente une méthode pointue et efficace pour déterminer les conditions initiales et les coordinations spontanées à partir desquelles

l'acquisition motrice va s'appuyer. Un simple questionnement visant à déterminer les expériences antérieures des sujets ne permet pas de déterminer le régime de stabilité des participants de façon fiable (Zanone & Kelso, 1992).

### 2.2.3. Les sessions de pratique

Une fois la familiarisation et l'exploration de la dynamique intrinsèque effectuées, les sujets devaient réaliser une session de 5 blocs consécutifs de 9 essais de 15 s. Ces essais consistaient en la réalisation d'une tâche de coordination bimanuelle avec un décalage de phase de  $270^\circ$ , en étant le plus précis et le plus stable possible, à une fréquence d'oscillation de 0.9 Hz. La coordination bimanuelle à  $270^\circ$  de décalage de phase correspond à une avance d'un quart de cycle dans les oscillations de la main gauche par rapport à la main droite. Une phase de repos de 15 s entre chaque essai était respectée, ainsi qu'une période de repos de 30 s entre chaque bloc avec durant cette pause un rappel de l'ensemble des informations avant pratique. Durant les essais, les sujets devaient osciller les manettes en synchronisant l'unique bip auditif avec une pronation maximale de la manette gauche. Plusieurs résultats expérimentaux nous ont poussé à diminuer la fréquence d'oscillation par rapport à celles décrites dans la littérature. En effet, Swinnen et al. (1997), Zanone et Kelso (1992, 1997) ou encore Hodges et Franks (2000) utilisaient une fréquence d'oscillation supérieure ou égale à 1 Hz. Toutefois, les résultats de Swinnen et al. (1997) ont mis en évidence une baisse de la fréquence d'oscillation lors des premiers essais. Les premiers essais sur une tâche nouvelle sont caractérisés par une surcharge cognitive et la pression temporelle semble être un facteur défavorisant l'apprentissage, et tout particulièrement les découplages. Dès lors diminuer légèrement la fréquence d'oscillation devait permettre un dépassement plus facile des coordinations spontanées, facilitant les découplages possibles entre les deux membres oscillants (Walter & Swinnen, 1992).

On peut noter que la tâche que nous avons mise en place présentait une difficulté accrue par rapport aux travaux antérieurs (Zanone & Kelso, 1997; Swinnen et al., 1997 a et b; Hodges & Franks, 2002). Comme nous l'avons vu précédemment, un seul signal auditif cadencait la fréquence d'oscillation, et les sujets ne recevaient pas de feedback concourant permettant un contrôle en ligne de la coordination. La difficulté de la tâche augmentant par rapport à la littérature, un feedback de type figure de Lissajous (Swinnen et al., 1997a) était cependant donné à la fin du premier, du cinquième et du neuvième essai de chaque session. Les sujets étaient informés que la coordination requise correspondait à un cercle, qu'un trait

en diagonale dirigé vers le haut et la droite correspondait à une coordination en anti-phase et qu'un trait dirigé vers le bas et la droite correspondait à une coordination en phase. Enfin, les sujets étaient informés qu'une coordination instable représentait une figure "brouillon" sur l'écran.

#### 2.2.4. Les instructions

Tous les groupes recevaient des informations spécifiques avant chaque bloc de pratique. Le premier groupe que nous nommerons le groupe «démonstration» recevait une simulation informatique d'une durée de 15 s de la tâche à réaliser à la fréquence et au décalage de phase requis. Durant cette démonstration, un bip retentissait spécifiant, comme pendant la pratique une pronation de la manette de gauche. La simulation représentait le mouvement des deux manettes avec le décalage de phase requis. Le choix d'une démonstration informatique a été guidé par les différents résultats sur le niveau d'habileté de la démonstration. Les résultats expérimentaux n'étant pas tranchés, il nous a semblé raisonnable de montrer une simulation spécifiant la coordination le plus précisément possible.

De plus, la simulation informatique du mouvement des manettes et non un enregistrement vidéo nous a permis de diriger l'attention sur le mouvement des manettes. Lors de l'élaboration des diverses instructions, mais aussi de toutes les informations manipulées au long de ce travail, nous avons tenté de prendre en compte les différents facteurs pouvant influencer leur efficacité. Les résultats des travaux de Wulf et de ses collaborateurs sur le focus attentionnel (Wulf, Höß & Prinz, 1998; Wulf, Lauterbach & Toole, 1999; Mc Newin, Wulf & Carlson, 2000) ont été notamment pris en considération. Ces travaux ont mis en évidence un désavantage du focus attentionnel interne. Dans le but d'éviter une altération de l'efficacité des instructions due à ce facteur, toutes les instructions ainsi que la simulation utilisées au cours de ce travail demandaient aux sujets de diriger leur attention non sur les membres oscillants du sujet mais sur le dispositif, les manettes qu'ils devaient manipuler.

De plus, la revue de littérature sur les instructions multimodales a mis largement en lumière l'utilité et la pertinence de cette approche concernant le matériel instructionnel. Le fondement théorique de ce type d'approche réside dans la facilitation d'un double codage (verbal et non-verbal) pour le matériel multimodal. Dès lors, comme pour le focus attentionnel, ce paramètre était pris en compte. En effet, les instructions utilisées tout au long de ce mémoire facilitaient ce double codage. Elles se présentaient toutes sous un format visuel

et auditif répondant ainsi à cette problématique qui semble bien étayée et documentée.

Le groupe «démonstration» (D) ne recevait aucune information additionnelle. Les deux autres groupes recevaient à la suite de la démonstration une information supplémentaire, différenciée par son niveau de description de la tâche. Une décomposition de la coordination requise était donnée au groupe recevant l'information de faible niveau de description. Cette décomposition était constituée de la présentation de 5 images consécutives (issues de la simulation) dans l'ordre temporel d'apparition, mettant en évidence la position relative de chaque oscillateur par rapport à l'autre. Ces images définissaient la position des manettes lorsque l'une d'elle était à un point de revirement (changement de direction d'une des manettes). La présentation des captures d'écran était accompagnée d'une description verbale de la part de l'expérimentateur de la position des manettes. Par exemple, lorsque l'image définissait la position de la manette de gauche en supination et la manette de droite en position verticale, cette présentation s'accompagnait de l'instruction verbale suivante: "Quand la manette de gauche est à l'extérieur, la manette de droite est au milieu". Les termes «extérieur», «intérieur» et «milieu» étaient manipulés (voir figure 5). Cette instruction verbale avait pour but de faciliter le codage de la coordination à réaliser sans mettre en avant un système de mémoire particulier comme le préconise l'approche multi-modale (Gellevis, Van der Meijh, De Jong & Pieters, 2002). Ainsi, les codages verbal et non-verbal étaient sollicités.

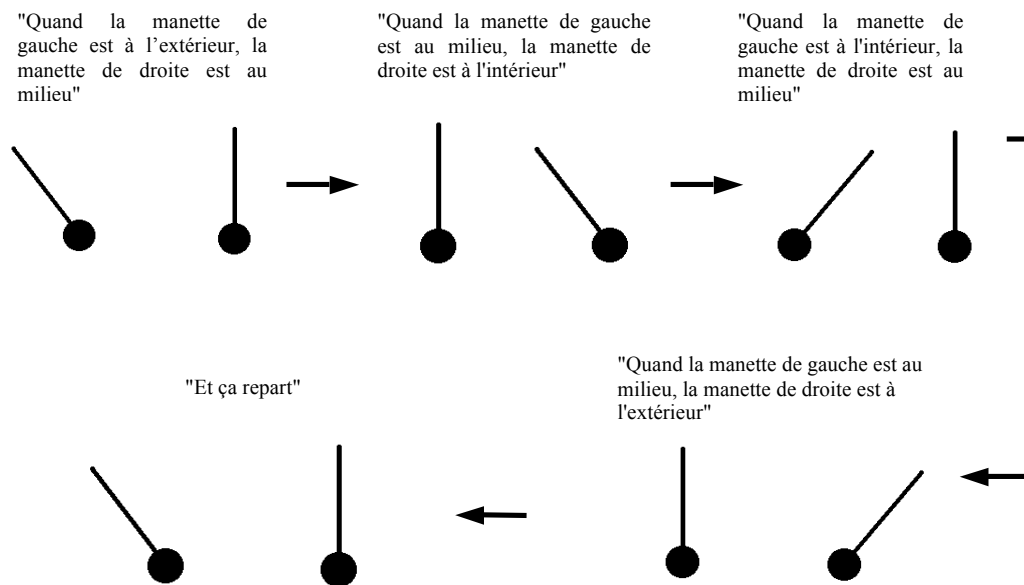


Figure 5: Représentation des différentes étapes visuelles et verbales de l'instruction de faible niveau de description de la tâche à réaliser.

La série de 5 images n'était présentée qu'une seule fois au début de chaque bloc, le passage d'une image à l'autre était contrôlé verbalement par le participant une fois que celui-ci estimait avoir assez observé l'image (le temps d'observation de chaque image n'excédait toutefois jamais 5 secondes). La décomposition de la tâche à réaliser spécifiait la coordination requise uniquement au niveau spatial. Ainsi, le mouvement n'était aucunement mis en avant, la structure temporelle de la coordination était occultée. Le groupe recevant cette information était appelé le groupe «faible niveau de description» (FD).

Le dernier groupe recevait quant à lui une information supplémentaire spécifiant le mouvement relatif des manettes. Dans ce sens, la structuration temporelle relative était mise en avant. Les participants écoutaient durant 15 s deux bips auditifs spécifiant un décalage de phase de  $90^\circ$  (un bip grave et un bip aigu comme lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque). Avant cela, les sujets étaient informés verbalement qu'ils allaient entendre une série de 2 bips. Le premier des deux bips (le bip aigu) devait se synchroniser avec la pronation de la manette de gauche comme pendant la pratique et la simulation. Le deuxième bip (le bip grave) correspondait à la supination maximale de la manette de droite comme pendant l'exploration de la dynamique intrinsèque. Les sujets étaient aussi informés que les deux bips correspondaient exactement à la coordination démontrée par la simulation. Enfin, l'accent était mis dans les instructions sur le fait que les manettes devaient osciller de manière à entrer

en synchronisation avec les bips. Tout comme pour une démonstration, nous émettons l'hypothèse que ce qui est perçu est le changement, c'est-à-dire l'espace temporel entre les deux bips mettant en évidence le décalage de phase entre les deux manettes. Ainsi, l'écoute des deux bips permettait de spécifier le mouvement relatif des manettes et surtout le décalage entre leur mouvement respectif. Cette interprétation entre dans la lignée du travail réalisé par Shea, Wulf, Park & Gaunt (2001). Durant cette étude un modèle auditif de la tâche était donné à un groupe de sujets. Ce dernier présentait de meilleures performances qu'un deuxième groupe expérimental ne recevant pas cette information. Les auteurs en ont conclu qu'une information auditive spécifiant le timing relatif favorise l'acquisition motrice. Le groupe recevant cette instruction était ainsi nommé le groupe «haut niveau de description» (HD).

Chacune de ces informations était rappelée au début de chaque bloc. Les participants pouvaient alors poser toutes les questions pouvant aider à la compréhension de la tâche, pour peu que les précisions demandées ne dépassent pas les limites fixées pour chaque groupe par le protocole expérimental. Lorsque les informations étaient présentées, l'activité des sujets était libre. Ils pouvaient observer et même mimer la coordination présentée. L'unique contrainte était alors de ne pas prendre en main les manettes durant ces phases.

#### 2.2.5. Analyse des données et variables dépendantes

Le système d'acquisition des données a permis l'enregistrement de deux séries temporelles rendant compte de la position de chacun des oscillateurs à partir de la deuxième seconde de pratique pour chaque essai. Ces séries temporelles étaient initialement filtrées au moyen d'un filtre de Butterworth avec double passage et une fréquence de coupure fixée à 10 Hz. A partir de ces séries filtrées, la vitesse angulaire était calculée ( $dx/dt$ ) puis filtrée suivant la méthode employée pour les séries de position. Ensuite, les séries temporelles de vitesse et de position ont été ré-étalonnées dans un intervalle  $[-1;1]$ . Cette transformation a permis le calcul de la phase ( $\theta$ ) de chacun des oscillateurs par la formule suivante (Kelso, Sholz & Schöner, 1986; Sholz & Kelso, 1989):

$$\theta = \arctan [(dx/dt)/x]$$

Enfin, le décalage de phase était calculé comme la différence entre la phase de l'oscillateur droit et celle de l'oscillateur gauche. Les calculs des variables dépendantes étaient

alors basés sur le calcul de la phase relative suivant la méthode de l'estimation ponctuelle (4 mesures de la phase relative par cycle), lorsque l'un des oscillateurs était à un point de revirement.

A partir de cette série de phases relatives, nous avons pu déterminer cinq variables dépendantes. La première rendait compte du niveau de stabilité des patrons de coordination exécutés. Cette mesure était représentée par la *variabilité de la phase relative* et correspondait au calcul de l'écart-type du décalage de phase de la série temporelle considérée. La seconde variable dépendante rendait compte quantitativement d'une coordination purement qualitative. Elle définissait aussi la nature du biais de chacun des sujets. En début d'acquisition, un sujet bistable apprenant un mode de coordination à 90° est spontanément attiré par une des deux coordinations attractives à savoir les coordinations en phase et en anti-phase. Dès lors, pour permettre la détermination de ce biais, nous avons calculé le *décalage de phase moyen* durant un essai. En troisième lieu, pour mesurer l'écart entre la coordination effectuée et la coordination requise nous avons calculé *l'erreur absolue au patron de coordination requis*:

$$\text{erreur} = \left| \phi_{\text{exécuté}} - \phi_{\text{requis}} \right|$$

Cette dernière variable permettait de mesurer les progrès des sujets en terme d'écart absolue à la cible. Une grande valeur indiquait que la coordination cible ne faisait pas partie du répertoire intrinsèque du sujet. L'analyse de ces trois variables dépendantes est indispensable pour témoigner avec précision de l'acquisition d'habileté (Fontaine et al., 1997).

Nous avons inclus deux nouvelles variables que nous nommerons la *consistance collective de précision* et la *consistance collective d'attraction* des informations comportementales. Nous avons calculé ces nouvelles variables dans le but de faire ressortir le degré de généralité des informations comportementales activées. En effet, une instruction peut favoriser l'apprentissage. Mais évoque-t-elle la même information comportementale pour un ensemble d'apprenants? Pour étudier cette qualité inhérente à toute instruction efficace nous avons déterminé deux paramètres de consistance collective. Le premier est la consistance collective d'attraction ( $C_{\text{mem}}$ ) des informations comportementales. Cette variable détermine le niveau de similarité attractive intra-groupe de l'information comportementale activée au moyen d'une instruction en prenant en compte la variabilité des patrons de coordination exécutés. La deuxième variable dépendante ( $C_{\text{vmem}}$ ) renvoie à la consistance collective de précision des informations comportementales en prenant en compte l'erreur absolue au patron

requis. Le calcul de ces deux variables prend en référence l'erreur ou la variabilité moyenne d'un groupe. Ensuite nous avons retranché à cette variable la valeur de la variable correspondante pour un sujet. Enfin nous avons élevé au carré cette différence. Nous avons ainsi les équations suivantes pour la consistance collective d'attraction (1) et de précision (2):

$$C_{cmem} = (\sigma_{groupe} - \sigma_{sujet})^2 \quad (1)$$

$$C_{ymem} = (erreur_{groupe} - erreur_{sujet})^2 \quad (2)$$

Ainsi, pour ces deux nouvelles variables, plus la valeur moyenne est élevée et plus l'information comportementale en terme de précision du patron de coordination mémorisé et en terme de puissance attractive est variable d'un sujet à l'autre pour un même groupe expérimental. Ces deux variables sont intéressantes dans le sens où elles mettent les trois groupes à un même niveau de variabilité.

L'ensemble de ces variables a été soumis à différents traitements statistiques. Le premier rendait compte du processus d'apprentissage grâce à une analyse de variance 3 (groupe) X 4 (jour) X 5 (bloc) à mesures répétées sur les deux derniers facteurs. Le facteur bloc représentait la valeur moyenne de la variable dépendante prise en compte pour le bloc considéré. Le seuil de significativité était fixé à  $p < 0.05$ . Pour localiser les effets avec précision, nous avons utilisé un test post-hoc de Scheffé.

Pour témoigner de l'évolution de la dynamique intrinsèque due à l'apprentissage et aux informations avant pratique, nous avons réalisé une ANOVA 3 (groupe) X 3 (jour) X 7 (coordination) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs. Le facteur jour représentait la mesure de la dynamique intrinsèque le premier jour, le quatrième jour et lors de la session de rétention.

Enfin, pour témoigner de l'effet de l'apprentissage à long terme nous avons réalisé une ANOVA 3 (groupe) X 3 (session) X 3 (essai) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs. Le facteur session était caractérisé par une mesure de chacune des variables dépendantes en prenant en compte les 3 derniers essais de la quatrième session d'apprentissage, les essais de rétention immédiate exécutés lors de la dernière session d'acquisition motrice et les essais réalisés lors de la session de rétention à long terme 8 à 10 jours plus tard.

Pour terminer notre analyse nous avons demandé aux sujets en fin d'apprentissage s'ils utilisaient effectivement les instructions prodiguées. En effet, on peut s'attendre à ce que les sujets n'utilisent pas une information qui semble peut propice à favoriser l'apprentissage.

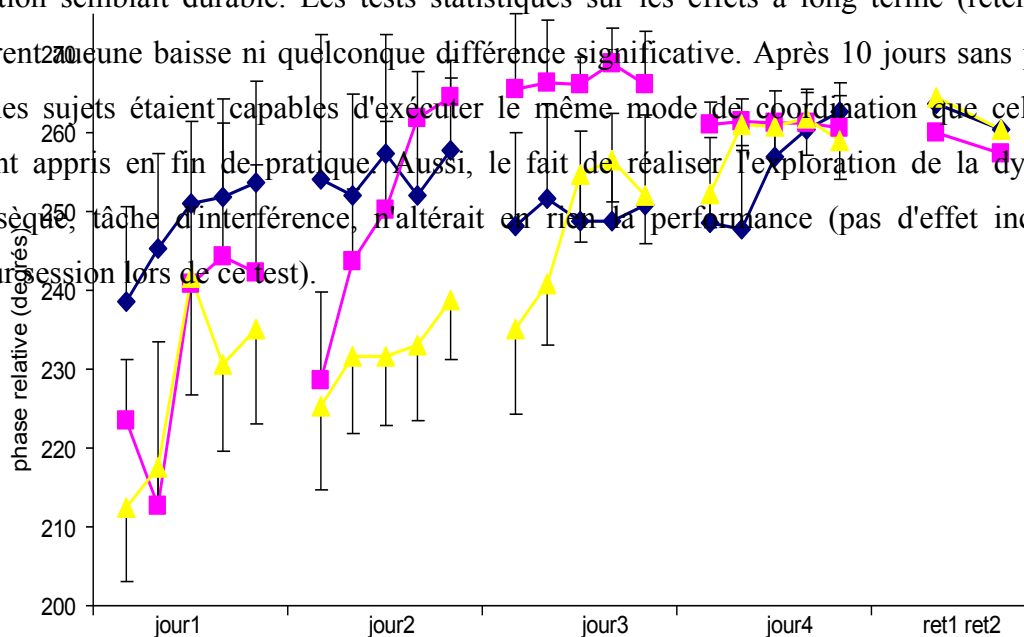
### 3. Résultats

#### 3.1. Apprentissage

##### 3.1.1. Décalage de phase moyen des patrons de coordination exécutés

Le graphique de la figure 6 représente l'évolution de la phase relative en fonction du temps de pratique. Les résultats statistiques mettent en évidence une augmentation de la phase relative avec un effet du facteur jour ( $F(3,57)=7.89$ ;  $p<0.01$ ). Cet effet est dû à une différence significative entre le premier jour de pratique et les troisième et quatrième jours ( $p<0.01$  pour les deux effets avec  $m_{\text{jour1}}=236.04^\circ$ ,  $m_{\text{jour3}}=254.62^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=258.37^\circ$ ). On obtient également un effet bloc ( $F(4,76)=11.43$ ;  $p<0.01$ ), indiquant que le décalage de phase moyen progressait tout au long de chaque journée de pratique. Cette augmentation de la phase relative se localisait entre les deux premiers blocs de pratique et les trois derniers ( $p<0.01$  pour les différences entre le bloc 1 et les bloc 3, 4 et 5, ainsi que celle concernant le bloc 2 et le bloc 4;  $p<0.05$  entre le bloc 2 et les blocs 3 et 4). Nous n'avons enfin noté aucun effet significatif du facteur groupe.

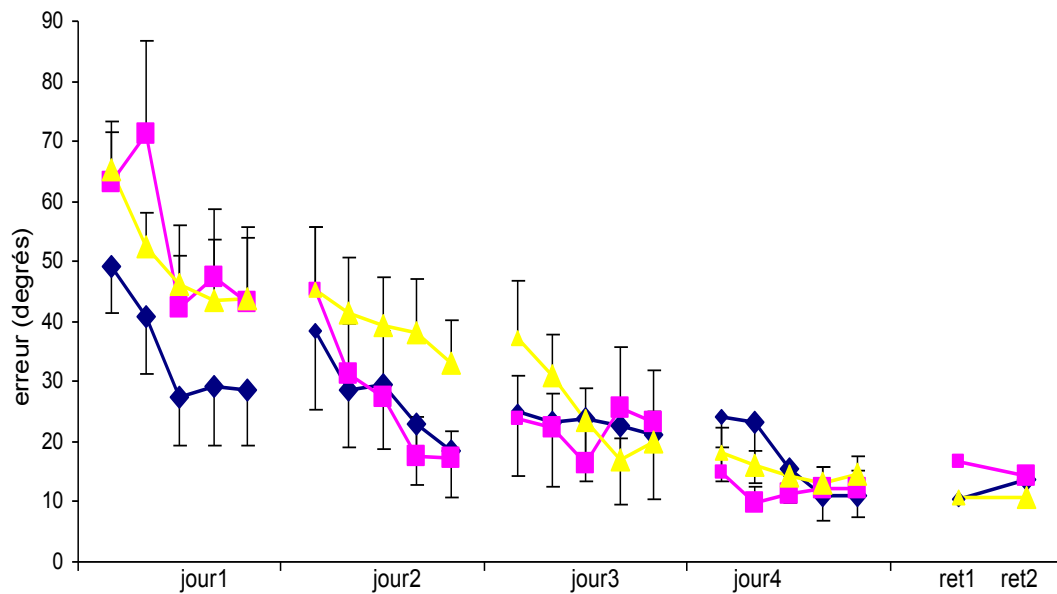
Le décalage de phase tendait à augmenter progressivement au fur et à mesure de la pratique. Il évoluait de  $224^\circ$  lors du premier bloc jusqu'à  $260^\circ$  lors du dernier bloc. Cette évolution semblait durable. Les tests statistiques sur les effets à long terme (rétention) ne montrent aucune baisse ni quelconque différence significative. Après 10 jours sans pratique, tous les sujets étaient capables d'exécuter le même mode de coordination que celui qu'ils avaient appris en fin de pratique. Aussi, le fait de réaliser l'exploration de la dynamique intrinsèque, tâche d'interférence, n'altérait en rien la performance (pas d'effet incluant le facteur session lors de ce test).



### 3.1.2. Erreur absolue au patron de coordination requis

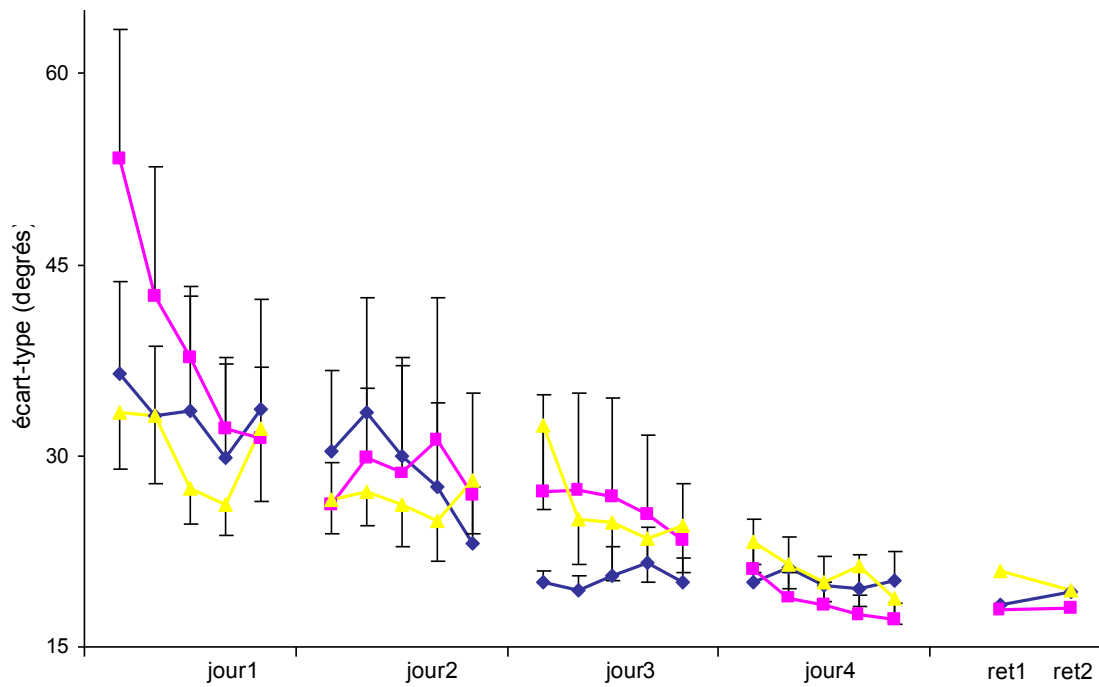
Les résultats concernant l'évolution de l'erreur au patron requis diffèrent de ceux de la phase relative moyenne des patrons exécutés (voir figure 7). Nous avons pu noter une baisse de l'erreur absolue au cours de la pratique avec un effet jour ( $F(3,57)=42.02$ ;  $p<0.01$ ). Cette baisse était présente tout au long de la pratique avec une différence significative entre le premier jour de pratique et les suivants ( $p<0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}=46.27^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=14.81^\circ$ ), entre le deuxième jour de pratique et le dernier ( $p<0.01$ ) et entre le troisième et le dernier jour de pratique ( $p<0.05$ ). Cette baisse de l'erreur intervenait aussi tout au long d'un jour de pratique avec un effet bloc ( $F(4,76)=24.15$ ;  $p<0.01$ ) et était due à une différence significative entre les deux premiers blocs et les trois derniers ( $p<0.01$  pour tous les effets exceptée la différence bloc2/bloc3:  $p<0.05$ ). L'erreur diminuait tout au long de la pratique de façon plus importante lors des premiers blocs de premiers jours de pratique motrice: Nous avons en effet pu noter un effet d'interaction jour X bloc ( $F(12,228)=2.14$ ;  $p<0.05$ ). A la différence de la phase relative moyenne, un effet significatif incluant le facteur groupe était présent. Les traitements statistiques indiquent un effet d'interaction groupe X jour ( $F(6,57)=2.74$ ;  $p<0.05$ ). Lors des premiers jours d'apprentissage, le groupe ne recevant que la démonstration et le groupe HD pratiquaient des patrons de coordinations moins précis que le groupe recevant l'information de faible niveau de description de la tâche à réaliser (GFD). Ce manque de précision ne perdurait pas, les deux groupes les moins précis exécutaient des patrons de coordination tout aussi appropriés que le troisième à la fin de l'apprentissage.

Ces différences s'estompant au fur et à mesure de l'apprentissage, nous n'avons décelé aucun effet groupe supplémentaire lors des analyses concernant les tests de rétention immédiate et retardée. Lors de ces tests, un effet d'interaction session X essai était significatif ( $F(4,76)=3.24$ ;  $p<0.05$ ). Cet effet était dû à une baisse de l'erreur au cours de la pratique lors du test de rétention retardée (essai1:  $m=14.90^\circ$ ; essai3:  $m=10.79^\circ$ ) alors que l'erreur avait tendance à augmenter légèrement lors des 3 derniers essais de pratique (essai1:  $m=10.74^\circ$ ; essai3:  $m=14.35^\circ$ ) et des trois essais de rétention immédiate (essai1:  $m=11.42^\circ$ ; essai3:  $m=14.10^\circ$ ). Cette différence peut s'expliquer par le fait qu'au bout de plusieurs jours de repos, l'activation de l'information comportementale mémorisée était plus difficile ou tout du moins légèrement contrariée mais retrouvait une certaine efficacité après un premier rappel.



### 3.1.3. Variabilité des patrons de coordination exécutés

La variabilité des patrons de coordination exécutés baissait au cours de la pratique. Comme il est aisé de le comprendre par la figure 8, les résultats statistiques mettent en évidence une baisse de la variabilité par un effet du facteur jour ( $F(3,57)=11.73$ ;  $p<0.01$ ). Cette stabilisation des patrons de coordination est particulièrement importante lors des deux premières sessions ( $1^{\text{er}}/3^{\text{ème}}$  jours:  $p<0.01$ ;  $1^{\text{er}}/4^{\text{ème}}$  jours:  $p<0.01$ ;  $2^{\text{ème}}/4^{\text{ème}}$  jours:  $p<0.05$  avec  $m_{\text{jour1}}=34.40^{\circ}$  et  $m_{\text{jour4}}=19.92^{\circ}$ ). L'amélioration de la performance était également significative au cours d'une session de pratique (effet bloc:  $F(4,76)_6=3.92$ ;  $p<0.01$  avec une différence entre le premier bloc et les deux derniers,  $p<0.05$ ). Les patrons de coordination exécutés en fin de pratique étaient stables. Cette stabilité était durable et n'était pas fonction du groupe considéré. Nous n'avons noté aucun effet du facteur groupe. Le traitement statistique prenant en compte les essais de rétentions immédiate et retardée ne montraient aucune différence statistique. Les patrons de coordination exécutés suivant l'exploration de la dynamique intrinsèque et après 8 à 10 jours de repos étaient aussi stables que ceux réalisés en fin d'apprentissage.



### 3.2. Consistance collective des informations comportementales

#### 3.2.1. Consistance collective de précision

Le traitement statistique concernant la consistance collective de précision met en évidence une augmentation de la consistance, se traduisant par une baisse du carré des écarts à la moyenne, au cours de la pratique (effet jour,  $F(3,57)=6.41$ ,  $p<0.01$  avec jour1/jour3:  $p<0.01$  et jour1/jour4,  $p<0.01$ ,  $m_{\text{jour1}}=1097.17^{\circ 2}$  et  $m_{\text{jour4}}=385.75^{\circ 2}$ ). Nous avons noté que le groupe démonstration était moins consistant que les deux autres en début d'expérimentation, comme en témoigne l'interaction groupe X jour ( $F(6,57)=2.67$ ,  $p<0.05$ , voir Figure 9).

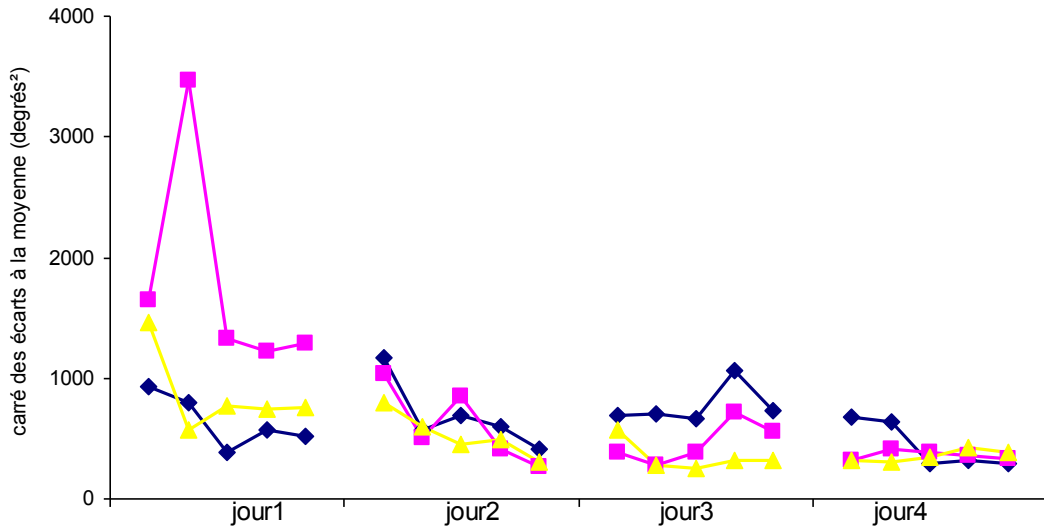
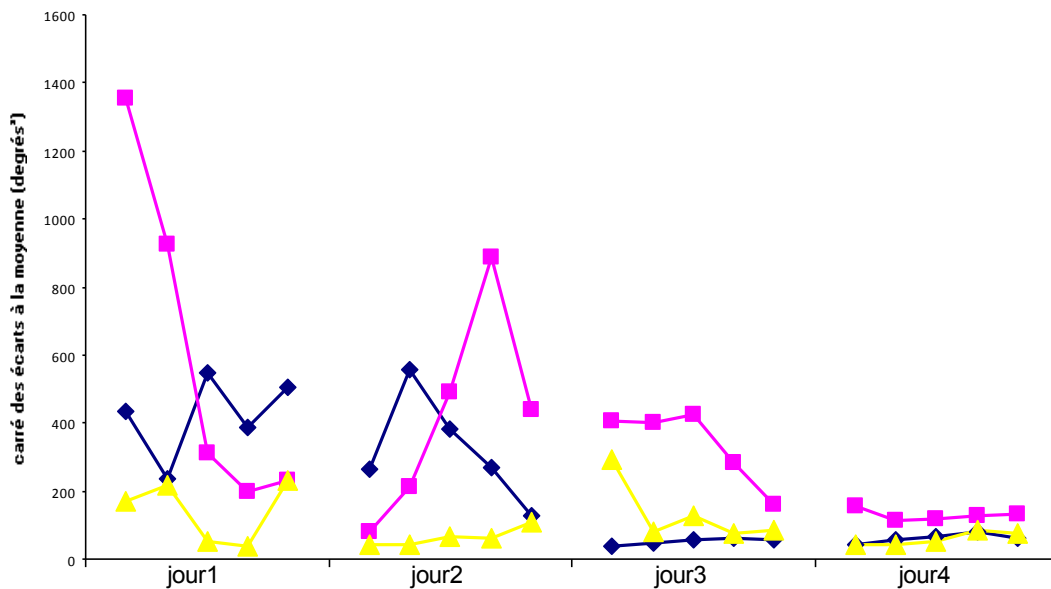


Figure 9: Evolution de la consistance collective de précision au cours de la pratique. Le groupe FD est représenté par les losanges bleus. Les carrés roses représentent le groupe D et les triangles jaunes représentent le groupe HD.

### 3.2.2. Consistance collective d'attraction

La consistance collective des informations comportementales activées n'évolue pas statistiquement. En dépit d'une représentation graphique suggestive (Figure 10), nous n'avons noté aucun effet statistique. Ce résultat semble être lié à une importante variabilité inter-individuelle pour chacun des groupes.



*Figure 10: Evolution de la consistance collective d'attraction au cours de la pratique. Le groupe FD est représenté par les losanges bleus. Les carrés roses représentent le groupe démonstration et les triangles jaunes représentent le groupe HD.*

### 3.3. Dynamique intrinsèque

#### 3.3.1. Erreur absolue aux patrons requis

L'exploration de la dynamique intrinsèque permet de renseigner sur la modification des capacités des sujets due à l'apprentissage du patron de coordination à 270°. Comme en témoigne la figure 11, nous avons pu noter que la dynamique intrinsèque évoluait au cours de la pratique (effet jour  $F(2,38)=24.17$ ;  $p<0.01$ ). Ce changement de la dynamique intrinsèque avait lieu entre les premier et dernier jours de pratique ( $p<0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}=43.06^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=27.92^\circ$ ). Ce changement perdurait comme en témoigne la différence significative entre le premier jour de pratique et la journée de rétention retardée ( $p<0.01$  avec  $m_{\text{rétention}}=29.26^\circ$ ) et l'absence de différence entre le quatrième jour et cette même session de rétention à long terme ( $p>0.05$ ).

Les tests statistiques mettaient également en évidence un effet du facteur coordination ( $F(6,114)=129.34$ ;  $p<0.01$ ). Cet effet était dû à une différence entre l'erreur à l'anti-phase et celle de tous les autres patrons exceptée bien sûr celle de la phase ( $p<0.01$  quel que soit le test post-hoc), à une différence entre l'erreur au patron en phase et les autres ( $p<0.01$  pour l'ensemble des post-hoc) mais aussi à une différence entre l'erreur aux patrons à 210°, à 240° et à 270° et celle aux patrons à 300° et à 330° ( $p<0.01$  quel que soit le patron de coordination pris en compte). Dans ce sens, plus le patron de coordination requis demandait un décalage de phase élevé et plus l'erreur était importante excepté pour le patron en phase. De plus, nous avons noté un effet d'interaction jour X coordination ( $F(12,228)=15.22$ ;  $p<0.01$ ). Sans décomposer ce résultat de façon précise, nous allons mettre en lumière les effets les plus intéressants. Nous n'avons observé aucune évolution des patrons en phase et en anti-phase, ces derniers étaient toujours aussi précis du début à la fin de l'expérimentation. Par contre, le patron à 270° gagnait en précision au cours de l'apprentissage ( $p<0.01$ ), ce gain de précision restant présent lors du test de rétention à long terme ( $p<0.01$ ). Il en était de même concernant la précision des patrons à 300° et à 330° ( $p<0.01$ ). Tous ces effets s'accompagnaient de

différences non significatives entre les patrons exécutés à la fin du quatrième jour de pratique et ceux exécutés lors de la session de rétention à long terme.

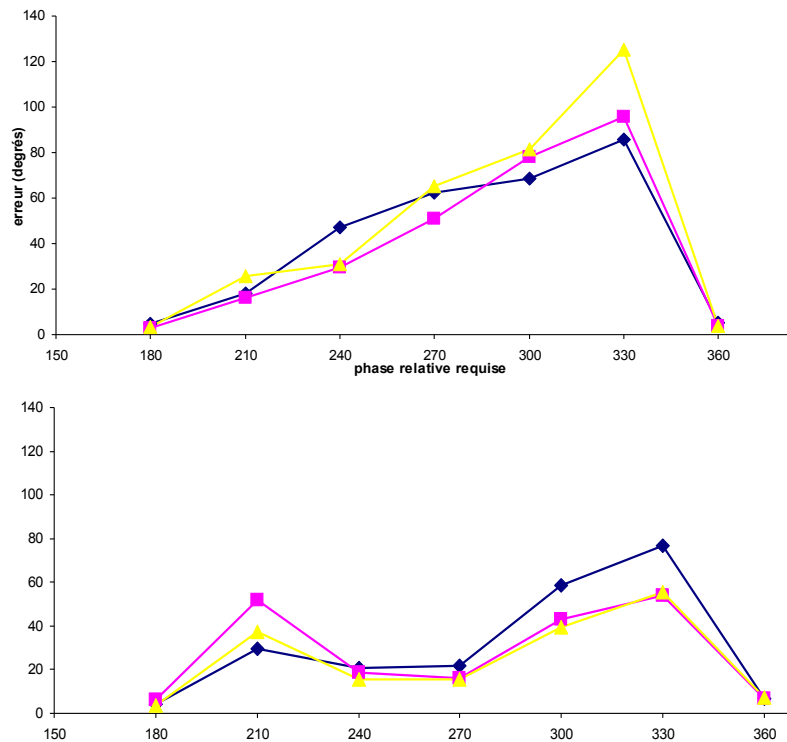
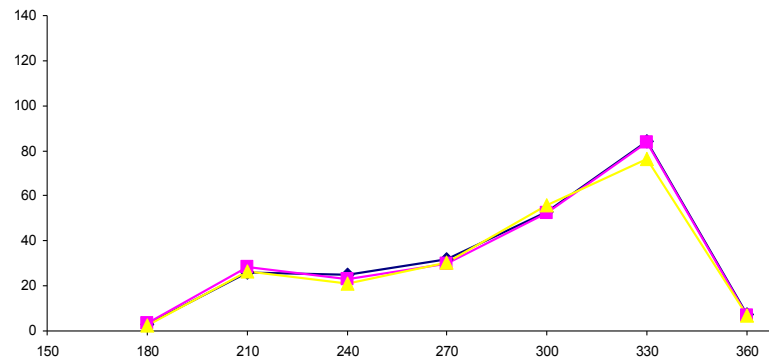


Figure 11: Evolution de l'erreur absolue au patron requis en fonction du patron de coordination cible (carré rose: groupe démonstration, losange bleu: groupe FD, triangle jaune: groupe HD; graphe du haut : 1<sup>er</sup> jour; graphe du milieu : 4<sup>ème</sup> jour; graphe du bas : jour de rétention).



Enfin, les traitements statistiques ont révélé une triple interaction groupe X jour X coordination ( $F(24,228)=1.88$ ;  $p<0.01$ ). Cette interaction complexe était en partie due à une baisse plus importante de l'erreur au patron à  $330^\circ$  entre le premier et le quatrième jour pour le groupe HD par rapport au groupe FD ( $p<0.05$ ), à une augmentation de l'erreur plus importante pour le groupe démonstration par rapport au groupe FD lorsqu'il leur était demandé de réaliser un décalage à  $210^\circ$  ( $p<0.05$ ), cette augmentation étant transitoire car aucun effet n'était mis en évidence entre l'exploration de la dynamique intrinsèque et celle de la journée de rétention à long terme.

### 3.3.2. Variabilité des patrons exécutés

Comme pour l'erreur au patron requis, l'apprentissage d'un patron de coordination à  $270^\circ$  influençait la dynamique intrinsèque des sujets (voir figure 12). Les résultats statistiques ont mis en évidence un effet principal du facteur jour ( $F(2,38)=19.22$ ;  $p<0.01$ ). Cet effet était localisé entre la première et la quatrième journée et entre la première journée et la journée de rétention à long terme ( $p<0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}=27.41^\circ$ ,  $m_{\text{jour4}}=20.19^\circ$  et  $m_{\text{rétention}}=20.44^\circ$ ). Cette adaptation perdurait comme en témoigne l'absence de différence entre le quatrième jour et la session de rétention à long terme.

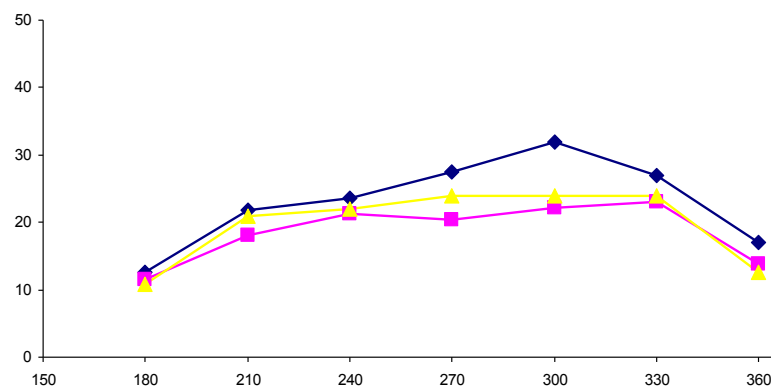
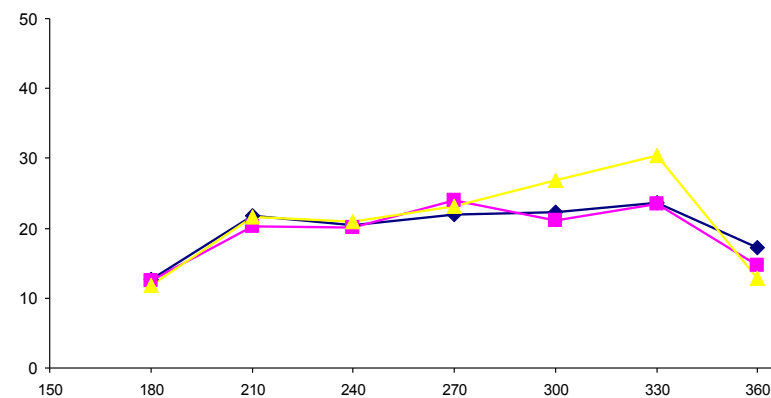
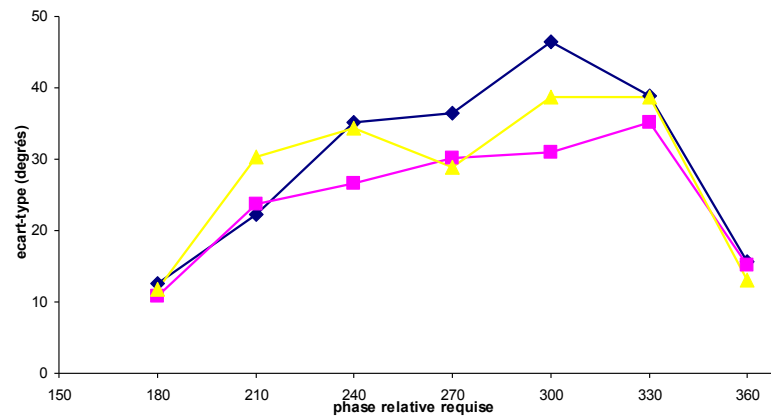


Figure 12: Evolution de la variabilité des patrons de coordination exécutés en fonction des patrons requis (carrés roses: groupe «démonstration», losanges bleus: groupe FD, triangles jaunes: groupe HD; graphe du haut: 1<sup>er</sup> jour; graphe du milieu: 4<sup>ème</sup> jour; graphe du bas: jour de rétention)

Comme nous pouvions nous en douter, un effet coordination était aussi présent ( $F(6,114)=38.65$ ;  $p<0.01$ ). Cet effet s'expliquait par une plus faible variabilité des patrons en phase et en anti-phase comparés aux autres patrons ( $p<0.01$ ). La variabilité du patron à 210°

était aussi plus faible que celle des patrons à 300° et 330° ( $p < 0.01$  concernant les deux tests post-hoc).

Finalement, l'évolution des patrons de coordination était différente en fonction des patrons requis et du facteur jour comme en témoignait une interaction jour X coordination ( $F(12,228)=4.53$ ;  $p < 0.01$ ). Lors du quatrième jour et du jour de rétention, les patrons entre 210° et 300° étaient aussi stables que les patrons en phase et en anti-phase (la valeur de  $p$  évoluait entre  $p < 0.05$  et  $p < 0.01$ ).

Nous n'avons noté aucun effet significatif incluant le facteur groupe. Cette absence d'effet ne signait aucune supériorité d'une instruction sur la variabilité des patrons de coordination exécutés lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque.

#### **4. Discussion**

Lors de cette expérimentation, nous avons testé l'hypothèse de l'influence du niveau de description de la tâche à réaliser dans l'efficacité d'instructions pour faciliter l'apprentissage moteur. Une information décrivant le mouvement relatif des oscillateurs devait permettre un apprentissage plus précoce comparé à une information ne décrivant que les différentes positions relatives des oscillateurs. Les résultats de l'expérimentation ne valident pas les hypothèses émises. Toutefois, une analyse précise des résultats va nous permettre d'émettre quelques nouvelles perspectives.

Tous les sujets, quel que soit le groupe, présentaient au début de l'expérimentation une dynamique intrinsèque bistable. Au bout de quatre sessions de pratique soit un temps de pratique de 2700 secondes (45 minutes ou environ 3000 oscillations), l'ensemble des sujets a été capable de réaliser et de stabiliser un patron de coordination à 270°. Cet apprentissage demeurait consistant, le test de rétention à long terme ne présentant aucune baisse de la performance. Les adaptations les plus importantes s'exprimaient lors des deux premières sessions avec une baisse plus importante de l'erreur et de la variabilité des patrons exécutés lors de ces deux sessions d'apprentissage. La performance, très instable et imprécise lors des premiers essais, devenait plus précise et stable au fur et à mesure de la pratique. Il convient de noter que l'apprentissage du patron de coordination à 270° sans information environnementale spécifiant le patron de coordination ou sans feedback concourant demeure plus lent qu'avec ce type d'aide (Zanone & Kelso, 1992, 1997; Hodges & Franks, 2000). Nos résultats suggèrent

de ce fait l'intérêt et l'efficacité de ce type d'aide. L'apprentissage moteur est néanmoins possible mais doit comporter des temps de pratique plus longs, la création et l'optimisation d'une information comportementale demandant davantage de temps.

Les différents graphiques montrent une évolution de la performance de type loi puissance avec une augmentation importante de la performance lors des premiers essais, suivie d'une stabilisation progressive au bout d'un certain temps de pratique. Cependant, ce type d'analyse ne rend aucunement compte de l'adaptation individuelle. Une analyse globale, groupale, permet de définir les grandes lignes de l'apprentissage mais ne caractérise pas de façon satisfaisante l'évolution individuelle des coordinations motrices. La théorie des systèmes dynamiques conçoit l'apprentissage comme une adaptation abrupte et précédée d'une phase de déstabilisation des coordinations spontanées. Cependant, l'échelle temporelle des adaptations reste purement individuelle. Aussi, une analyse globale ne peut rendre compte d'un réel processus d'apprentissage et surtout de sa dynamique (son évolution dans le temps). La suite de la discussion des résultats s'articule autour de ces deux types d'analyse.

Nous avons pu noter que les patrons de coordinations initiaux étaient attirés majoritairement par le patron de coordination en anti-phase. Ce résultat contredit ceux classiquement rapportés dans la littérature (Fontaine et al., 1997 ; Hodges & Lee, 1999), selon lesquels l'apprentissage du 90° est biaisé soit vers la phase soit vers l'anti-phase. Seul un sujet par groupe était caractérisé par une tendance à réaliser un patron de coordination en phase. On peut donc noter que quelle que soit l'information donnée, les sujets prenaient en majorité "appui" sur l'anti-phase pour dépasser les coordinations spontanées. Comme le soulignent Fontaine et al. (1997), la tendance spontanée en phase ou en anti-phase dans le but de réaliser un nouveau mode de coordination ne prédestine pas à une meilleure performance à la fin de l'apprentissage. Nous retrouvons ici ce même résultat, en effet nos 3 sujets, ayant initialement une tendance à la phase, ne réalisaient pas des patrons de coordinations plus stables ou plus précis à la fin de l'apprentissage.

Pourquoi les sujets de notre expérimentation s'appuient-ils majoritairement sur l'anti-phase pour dépasser les modes de coordination préférentiels? Le fait qu'un sujet de chaque groupe soit différent des autres nous laisse supposer que la simulation elle-même entraîne ce phénomène. Comme nous l'avons vu dans la méthode, la simulation est donnée en temps réel et présente les mêmes contraintes que les coordinations réalisées par les sujets. Le bip sonore retentit lorsque la manette de gauche se situe en pronation à 45° de la verticale. A ce moment,

comme sur la figure 13, la manette de droite se déplace vers la droite. Cet instant, remarquable à cause du bip, pourrait induire une augmentation du focus attentionnel dû à cet événement périodique et ponctuel. Or, selon la théorie de Scully et Newell (1985), ce qui est perçu est le mouvement relatif. Ainsi, juste avant le bip, les deux manettes se dirigeaient dans la même direction... comme pour un patron en anti-phase. Les sujets ont alors eu tendance à percevoir une coordination plus proche de la coordination en anti-phase que de la coordination en phase. Récemment Hodges et Franks (2002) ont mis en évidence que le fait de donner des instructions s'appuyant sur le patron en anti-phase ne favorisait pas davantage le processus d'apprentissage que des instructions demandant aux sujets de prendre appui sur le patron de coordination en phase. Dès lors ce type de biais ne peut expliquer les adaptations que nous avons rencontrées.



*Figure 13: Représentation de la simulation donnée avant la pratique motrice au moment du bip auditif.*

Les modes de coordination exhibés étaient relativement individuels (voir les barres d'erreur sur les différents graphiques et les résultats de consistance collective). Ce résultat est en concordance avec ceux de Hodges et Franks (2000). Toutefois, la consistance collective des informations comportementales était relativement spécifique à chaque groupe. La consistance collective de précision du groupe D (celui recevant la simulation) était légèrement plus faible que celle des deux autres groupes en début de pratique. Les groupes recevant des informations supplémentaires (HD et FD) étaient caractérisés par une meilleure consistance collective de précision. Le groupe recevant l'information de haut niveau de description de la tâche à réaliser présentait une consistance collective d'attraction plus importante que les deux autres groupes, mais cet effet ne fut pas significatif. Cependant, ces résultats donnent des indices concernant le pouvoir attractif de chacune des instructions données et surtout concernant la spécification des patrons de coordination propre à chaque instruction. En effet, selon Kugler (1986) les instructions représentent un niveau de contraintes au même titre qu'un

retour d'information en direct ou un aménagement du milieu. Or une tâche faiblement contraignante entraîne une grande variabilité inter-individuelle (Newell et al. 1990), les sujets ayant tendance à exploiter leurs expériences antérieures hautement spécifiques. Donner peu d'informations, comme le fait de prodiguer une simple démonstration, pour réaliser une tâche, entraîne une plus grande exploration de l'espace perceptivo-moteur (Hodges & Lee, 1999; Wulf & Weigelt, 1997; Caillou et al., 2002). Malgré l'absence de différence significative, les patrons de coordination du groupe ne recevant que la simulation semblaient plus variables que les autres groupes. Ce groupe était placé dans une stratégie "plus ouverte" dans laquelle l'exploration de l'espace perceptivo-moteur était plus grande tant au niveau d'un même sujet qu'au niveau collectif, groupal. Il est alors intéressant de noter que cette différence dans l'exploration de la dynamique de la tâche ne détermine pas la performance finale. Il semble que les participants du groupe «démonstration» n'ont pas été capables d'extraire l'information fondamentale de la simulation permettant la création d'une information comportementale précocement efficace (Hodges & Franks, 2002). En fin d'apprentissage, les patrons de coordinations du groupe «démonstration» n'étaient ni plus stables ni plus précis que ceux des deux autres groupes. De même, la consistance collective de précision et d'attraction devenait aussi importante en fin d'apprentissage quel que soit le groupe d'appartenance des sujets. Ces résultats permettent de contredire la thèse évoquée par Vereijken et Whiting (1990) promouvant l'apprentissage par découverte et ses effets bénéfiques à long terme.

Un résultat contredisant nos hypothèses concernait aussi la plus faible erreur du groupe FD par rapport aux deux autres groupes lors des premiers blocks d'apprentissage. En effet, les sujets du groupe recevant la décomposition de la tâche à réaliser, étaient caractérisés par une plus grande précision des patrons de coordination exécutés. Toutefois, ce résultat n'était que temporaire et ne présuait pas de la performance en fin d'apprentissage, les autres groupes réussissant à réaliser les patrons de coordination tout aussi précisément en fin d'apprentissage. Il semble donc qu'au début de la pratique les sujets activent une information comportementale définissant le patron de coordination requis plus précisément. Ce résultat est d'autant plus surprenant que ce groupe recevait une grande quantité d'information décrivant seulement la position relative des oscillateurs, pouvant placer les sujets dans une situation de stress.

Toutefois, le rapide entretien réalisé lors de la dernière session d'acquisition avec les sujets a suggéré que ces derniers n'utilisaient pas tous la décomposition de la coordination. En

effet, 4 sujets sur les 7 ont avoué ne pas utiliser l'information de faible niveau de description de la tâche. Ils étaient focalisés sur la démonstration. Or, le but d'une instruction doit entre autres être de fédérer l'ensemble des sujets qui la reçoivent. Ce résultat nuance alors la pertinence de la description de la tâche à réaliser sans structure temporelle. Parallèlement, l'ensemble des sujets recevant l'information de haut niveau de description de la tâche à réaliser assurait utiliser cette information. Cette dernière n'était pas réellement efficace mais était plus facilement exploitable. Dans ce sens, il convient de relativiser la pertinence d'une décomposition pas à pas d'une démonstration. Intuitivement, on peut penser que des enseignants, par manque d'expérience ou ne connaissant pas une discipline, aient recours à ce type d'instruction, une décomposition temporelle des différentes phases composant l'exécution de la tâche requise. Il semble ici que cette stratégie instructionnelle ne soit pas valable dans notre cas. Ce résultat concernant la faible utilisation de l'information de faible niveau de description de la tâche corrobore ceux régulièrement retrouvés dans les études analysant les effets de l'assignation de but (goal setting). Ainsi, lorsque les sujets ne sont pas satisfaits des buts qui leur ont été assignés, ces derniers ont tendance à s'en auto-assigner d'autres plus convaincants (Boyce, 1984; Weinberg, Bruya & Jackson, 1990; Weinberg, Fowler, Jackson, Bagnal & Bruya, 1991; Smith & Lee, 1992). Il semble que ce soit le cas pour les sujets du groupe FD. Les sujets de ce groupe s'assignant de nouveaux buts, plus personnels et bien différents qualitativement des modes de coordination en phase et en anti-phase, ces derniers se présentaient alors dans une situation moins stressante que ceux des deux autres groupes. Parallèlement, l'information de faible niveau de description spécifiant un patron de coordination différent des patrons en phase et en anti-phase, les sujets de ce groupe exhibaient un mode de coordination plus proche du patron requis.

Finalement, la qualité de l'apprentissage peut aussi être mise en évidence par l'exploration de la dynamique intrinsèque. Cette exploration, en début d'apprentissage, laissait apparaître un léger désavantage pour le groupe HD. En effet, l'erreur au patron requis à 330° était supérieure à celle des deux autres groupes. Cette erreur plus grande n'était toutefois pas dramatique car tous les sujets au cours de cette expérimentation étaient caractérisés par une dynamique intrinsèque bi-stable. Aussi, l'apprentissage du patron de coordination à 270° a permis de rectifier cette relative imprécision. L'acquisition d'un patron de coordination à 270° n'a pas entraîné de déstabilisation des patrons de coordination intrinsèques (en phase ou en anti-phase). Ces deux patrons correspondent aux patrons les plus précis et les plus stables. En raison d'une absence d'exploration de la dynamique intrinsèque pendant la pratique, notre plan

expérimental ne nous a pas permis de mettre en évidence une déstabilisation transitoire des patrons intrinsèque comme cela était le cas dans l'expérimentation de Zanone et Kelso (1992). Cependant ce résultat était controversé par l'expérimentation de Swinnen et al. (1997), qui ne le répliquait pas. L'apprentissage du patron à 270° a permis une stabilisation relative des patrons à 210°, 240°, 270° et 300°, statistiquement aussi importante que les patrons initialement intrinsèques. Toutefois, cette stabilisation s'accompagne d'une légère augmentation de l'erreur pour le patron à 210°. La dynamique de coordination est donc attirée par l'information comportementale nouvellement mémorisée. Seuls les patrons de coordination à 240° et à 270° connaissent en fin d'apprentissage une baisse de l'erreur accompagnée d'une stabilité importante des patrons exécutés. Ainsi, comme dans les expérimentations de Zanone et Kelso (1992, 1997, 2002; voir aussi Fontaine et al., 1997), l'apprentissage d'un nouveau patron de coordination entraîne une modification globale de la dynamique intrinsèque. La capacité de l'information comportementale à attirer les modes de coordinations proches du 270° signe sa puissance et sa précision. L'étude de l'évolution de la dynamique intrinsèque ne met cependant pas en évidence la supériorité d'un quelconque groupe. Seul le groupe recevant seulement la simulation semble un peu déstabilisé par l'apprentissage du patron à 270° lorsqu'il doit réaliser un mode de coordination à 210°. Cette relative imprécision lors du test de fin d'apprentissage était néanmoins transitoire. En effet, l'exploration de la dynamique intrinsèque lors de la session de rétention à long terme ne confirmait pas ce résultat. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse qu'à court terme ce groupe n'a pas mémorisé une information comportementale aussi transférable que celle des deux autres groupes.

L'analyse individuelle révèle des traits caractéristiques à chaque groupe et notamment des stratégies différentes d'apprentissage en fonction des sujets. En effet, la faible consistance collective en début d'apprentissage révèle une diversité évidente des stratégies. Dans ce sens, en dépit de la différence entre les consignes, il réside, principalement pour le groupe ne recevant que la simulation, des stratégies d'apprentissage spécifiques. Comme le suggère clairement Newell (1986), le niveau de contraintes définit le type d'exploration de l'espace perceptivo-moteur. Il existe donc des sujets très fortement instables lors des deux premiers jours de pratique, qui explorent toutes les solutions motrices. Puis, après un temps de pratique, ces sujets arrivent à stabiliser la coordination requise (voir la figure 14, graphique de gauche).

De l'autre côté, il existe une stratégie d'apprentissage beaucoup plus subtile. Comme le décrivent bien Swinnen et al. (1997), certains sujets n'explorent pas de façon exhaustive l'espace de travail mais stabilisent un patron de coordination différent du patron requis. Ce patron de coordination "d'appui" est souvent le patron de coordination en anti-phase mais il peut être différent (patron en phase ou tout autre). Il apparaît ensuite une bifurcation caractérisée par une augmentation transitoire de la variabilité des patrons exécutés et par une stabilisation autour du patron requis (voir figure 14, graphique de droite). Ces deux stratégies bien que différentes, mettent bien en évidence le caractère brutal des effets de l'apprentissage. Ce dernier n'est en aucun cas, pour ce type de tâche, modélisé par une courbe d'apprentissage de type loi puissance. Toutefois, les propriétés sous-jacentes de l'information comportementale mémorisée peuvent être basées sur les mêmes fondements. Dans ce sens, le premier exemple de comportement peut être modélisé par une information comportementale mémorisée active mais peu précise. Le paramètre  $c_{mem}$  de l'information comportementale est alors faible mais différent de 0; par contre la valeur de la phase relative n'est pas fixe. Le second type de situation s'apparente à une construction progressive de l'information comportementale mémorisée. Le paramètre  $c_{mem}$  est alors très faible en début d'apprentissage mais la valeur du décalage de phase mémorisé est quant à elle précise et proche de celle du patron de coordination requis. Quand bien même la valeur de la phase relative mémorisée est juste, le pouvoir attractif de l'information comportementale est faible. Il en résulte un patron de coordination relativement stable mais éloigné du patron de coordination requis.

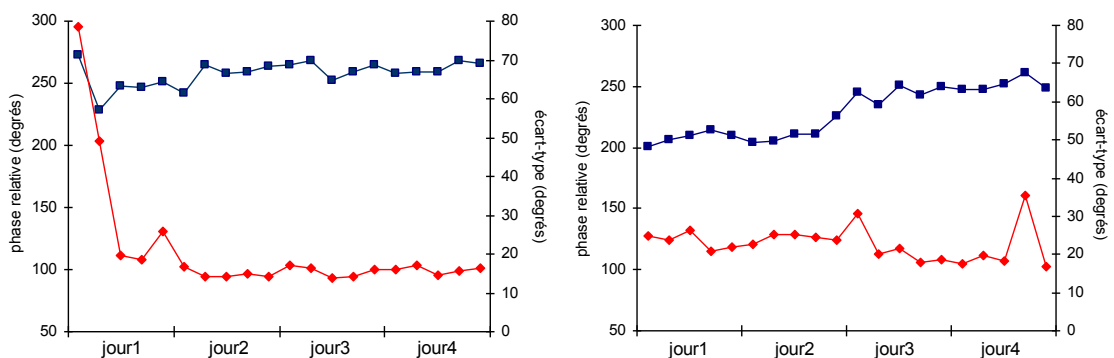


Figure 14: Evolution de la phase relative (courbe bleue) et de la variabilité du patron exécuté (courbe rouge) au cours de la pratique pour deux sujets dont les stratégies d'apprentissage diffèrent (stratégie "exploratoire" à gauche, stratégie "appui" à droite).

Comme nous avons pu le voir, l'instruction de haut niveau de description de la tâche à réaliser n'a pas permis un meilleur apprentissage d'une habileté spatio-temporelle. L'instruction de faible niveau de description de la tâche permettait même de diminuer l'erreur au patron requis lors des premiers essais. Cependant, les résultats concernant le groupe recevant cette dernière information sont à relativiser du fait de son succès mitigé. Nous pouvons émettre quelques hypothèses quant à l'échec de l'information de haut niveau de description. La première est à lier à l'absence d'information visuelle claire. En effet, les sujets entendaient deux bips sonores spécifiant le mode de coordination à  $270^\circ$ . Pendant l'écoute des deux bips, les sujets ne recevaient aucune information visuelle. Dès lors, il est possible qu'une faiblesse de l'instruction réside dans cette absence d'information visuelle qui selon les expérimentations sur les instructions multimodales empêche ou tout du moins perturbe le double codage (verbal/non verbal). Une remédiation possible serait alors de proposer une démonstration avec les deux bips spécifiant ainsi le mouvement relatif des oscillateurs visuellement et auditivement.

Une autre raison, plus théorique, de l'échec de l'information de haut niveau de description serait son faible pouvoir attractif (ie: le paramètre  $c_{mem}$  de l'équation de Schöner). L'information de haut niveau n'était pas assez puissante pour attirer la coordination vers des patrons de coordination plus stables. Schöner (1989) définit l'apprentissage comme le processus par lequel l'information comportementale définie environnementalement engendre une information comportementale mémorisée. Les résultats de cette première étude indiquent que la spécification du mouvement relatif n'induit pas forcément la création d'une information comportementale mémorisée puissante, le groupe recevant ce type d'information ne présentant pas de meilleurs résultats que les deux autres. Dès lors, l'utilisation d'une information déjà mémorisée doit pouvoir faciliter cette transition.

Cette première expérimentation n'a pas complètement mis en évidence la supériorité d'une instruction sur l'autre. Toutefois nous restons convaincu que le mouvement relatif représente l'information incontournable pour favoriser l'acquisition d'une habileté spatio-temporelle. L'information de haut niveau de description de la tâche à réaliser ne spécifiait pas le mouvement relatif des oscillateurs sur l'ensemble de la coordination. Dès lors, il est possible que ce manque d'information ait entraîné l'exécution de modes de coordination peu précis et stables de la part du groupe la recevant. Ainsi, donner plus d'informations concernant la tâche à réaliser devrait peut-être permettre de favoriser l'acquisition d'habileté.

La deuxième expérimentation de ce mémoire a ainsi tenté de répondre à deux des hypothèses énoncées. Nous avons posé l'hypothèse, controversée, émise par Newell et al. (1991), selon laquelle l'apprentissage est facilité lorsque l'on reçoit un maximum d'informations concernant la tâche à réaliser. Cette expérimentation a aussi permis de vérifier l'hypothèse du manque de pouvoir attractif concernant l'information de haut niveau de description. Au moyen d'une analogie, nous avons donc augmenté "artificiellement" la valeur du paramètre  $c_{mem}$ . Ces deux types d'informations ont ainsi été mis en concurrence lors de l'étude suivante.

## **Expérimentation 2: Effet de la quantité d'informations et d'une instruction analogique sur l'apprentissage moteur**

### **1. Introduction**

Newell, Carlton et Antoniou (1990) soulignent que pour faciliter l'apprentissage moteur, il convient de donner un maximum d'informations avant la pratique motrice. Cette hypothèse va toutefois à l'encontre des résultats obtenus par de récents travaux expérimentaux mettant en évidence l'avantage d'un apprentissage par découverte (Vereijken, 1991; Vereijken & Whiting, 1989, 1990; Wulf & Weigelt, 1997). Mais comme nous l'avons montré dans l'expérimentation 1, ce type de stratégie n'induit pas un meilleur apprentissage (cf: groupe ne recevant que la simulation) lorsque la tâche est peu contraignante. Dès lors, il devient intéressant, pour le type de tâche que nous prenons en référence (à savoir celles dont la solution motrice n'est pas biomécaniquement et informationnellement dirigée), d'utiliser des instructions dans le but de spécifier le patron de coordination requis.

L'expérimentation 1 a mis en évidence un manque d'efficacité des informations avant pratique. Dès lors, deux hypothèses peuvent être émises, la première concernant le pouvoir attractif de l'information mémorisée, la seconde concernant la spécification du mode de coordination requis. Cette première hypothèse est liée au pouvoir attractif de l'information comportementale perçue et activée à partir de l'instruction. Si l'information comportementale n'est pas puissante, cela peut être dû à la nouveauté de cette dernière. Ainsi, grâce à la pratique motrice, le phénomène de renforcement de l'information comportementale permet une augmentation de la valeur du paramètre  $c_{mem}$ . Mais ce renforcement et surtout cette attraction ne peuvent-ils pas être effectifs dès les premiers essais? Dans l'étude 1 nous avons manipulé des informations brutes comme des informations visuelles, auditives mais aucunement des informations liées à des expériences précédentes ou tout simplement des informations plus concrètes. Il est aisément concevable qu'il soit plus facile de comprendre un phénomène nouveau en l'interprétant à partir de son propre vécu, d'informations déjà acquises. Nous avons tous été dirigés grâce à des informations de type analogique ou métaphorique tout au long de notre vie (ex: "pour remonter la pente en ski fait le canard avec tes skis"; "regarde ce sportif c'est un véritable rouleau compresseur"). Naturellement nous avons recours à ces "stratagèmes" pour faciliter la compréhension d'une situation, d'un phénomène nouveau. Il en

est de même pour l'apprentissage moteur. Nous émettons ainsi l'hypothèse que l'utilisation d'une *analogie* devrait permettre d'exploiter et d'activer de manière précoce une information comportementale puissante de part le fait qu'elle active une information précédemment mémorisée, une situation comprise et intégrée et qu'elle permette ainsi une meilleure compréhension de la tâche à réaliser, donc une meilleure clarification du but de la tâche. De plus, une qualité potentielle de la consigne analogique est d'expliquer une situation peu comprise par une autre situation mieux comprise (Lakoff & Johnson, 1980). Tout au long de cette revue de littérature nous allons manipuler deux concepts relativement proches qu'il convient de définir: l'analogie et la métaphore. Ces deux figures de style se ressemblent mais ne possèdent pas exactement les mêmes propriétés. La métaphore est une image possédant deux sens, un sens apparent, "l'enveloppe", et un sens caché. Elle induit une comparaison implicite. Par exemple "je prends la route" est une métaphore (en effet on ne prend pas la route comme la définition au sens premier le laisse entendre). L'analogie se différencie de par la comparaison explicite entre deux domaines qui sont distincts mais qui partagent des similitudes. "Ta voiture est une poubelle" est une analogie, il existe une relation explicite entre les deux objets. Nous partons ainsi du postulat que l'analogie est une métaphore dont le sens caché est plus évident car le lien entre deux phénomènes est direct, explicite. Le but de ces deux figures étant de faciliter la compréhension d'une situation à partir d'une autre, nous émettons quelques "parallèles" entre ces deux figures de style.

L'utilisation de l'analogie est très répandue au sein du système scolaire. Quel enseignant n'a jamais eu intuitivement recours à ce type d'instruction? Son étude est tout aussi répandue (Laugier 1995; Kurtz, Miao & Gentner, 2000; Thomas & Mc Robbie, 2001) et permet une application très large tant au sein de l'apprentissage moteur que de la cognition et de la métacognition. Par exemple, l'expérimentation écologique menée par Thomas et Mc Robbie (2001) utilisait l'instruction suivante "l'apprentissage est une construction". L'effet recherché était alors de favoriser les métacognitions des élèves. En d'autres mots, les sujets de cette expérimentation étaient à l'origine caractérisés par de faibles métacognitions (ou plutôt des métacognitions de transmission), ils ne mettaient pas ou peu en liaison leurs diverses connaissances. A la suite de l'instruction, de nombreux étudiants ont réussi à changer leurs connaissances métacognitives. Notamment, ils sont passés d'une définition de l'apprentissage de type "transmission de connaissances" (de l'enseignant à l'élève) à une définition plus constructiviste de la connaissance (effet recherché). Cette étude a permis de mettre en évidence que le fait de donner une métaphore peut entraîner des conséquences et des

changements profonds de la part des individus la recevant. Il doit ainsi être possible d'utiliser une instruction analogique dans le but de modifier et de renforcer une information comportementale.

De plus, comme nous l'avons remarqué auparavant, l'analogie permet d'établir des similitudes entre deux domaines distincts. L'analogie doit donc favoriser la compréhension du phénomène, de la situation. Son effet doit être d'autant plus important que le phénomène est difficilement perceptible. Ceci semble être notre cas. Le groupe recevant la simulation seule n'était pas capable d'activer une information comportementale mémorisée efficace et attractive dès les premiers essais. Lakoff et Johnson (1980, 1999) appuient cette idée par le postulat que le système de pensée humain est fondamentalement métaphorique. Toute nouvelle expérience est liée et appréhendée à partir d'une précédente permettant une meilleure compréhension du monde environnant. Pour ces auteurs, il existe une interaction directe entre le monde environnant et le système conceptuel métaphorique.

De plus, Annett (1985) fait l'hypothèse qu'une consigne imagée (comme peut l'être une analogie) représente un pont entre le langage et l'action. L'analogie et la métaphore sont donc deux moyens de transmission d'informations largement répandus et utilisés par le système conceptuel. La fonction première de la métaphore et de l'analogie est de permettre la compréhension (Lakoff & Johnson, 1980) et a été largement analysée par des études s'intéressant à l'enseignement des sciences et des technologies (Hesse, 1966; Nersessian, 1992; Gentner, Brem, Ferguson, Markman, Levidow, Wolff & Forbus, 1997). Pour ce qui nous intéresse, elle doit permettre la compréhension du but de la tâche et donc du mouvement relatif entre les deux oscillateurs. En effet, les sujets de la première expérimentation ne semblent pas avoir atteint un niveau suffisant de compréhension de la tâche en début d'apprentissage pour dépasser rapidement les coordinations spontanées.

Lors de la première expérimentation, l'instruction de haut niveau de description de la tâche à réaliser ne spécifiait pas de façon satisfaisante le mouvement relatif des deux composantes. Comme nous l'avons déjà expliqué, le fait de ne pas donner une instruction multimodale (verbale + visuelle) n'a pas permis une construction "solide" de l'information comportementale. La faiblesse d'une consigne descriptive vient du fait qu'il est difficile de définir le mouvement, une certaine dynamique, sans avoir recours à une consigne analogique. Aussi, les consignes analogiques peuvent inclure ce dynamisme potentiel recherché. Ce qui est difficilement descriptible verbalement et visuellement peut alors être mis en évidence

grâce à l'utilisation d'une instruction imagée (Cadopi, 1997).

L'utilisation d'analogies et d'informations imagées est largement répandue, notamment dans l'enseignement de la danse (Overby, 1990). Son utilisation renvoie souvent à des recettes "magiques" dont disposent les bons enseignants. Par exemple en lancer de javelot, nombre d'entre nous ont reçu une consigne de type: "Au moment où vous lancez le javelot, imaginez que quelqu'un le tire en arrière". Cette consigne a pour objectif de créer un décalage entre la rotation de l'axe des épaules et celle de l'axe des hanches dans le but d'exploiter les forces réactives des muscles du tronc. Cette consigne définit une fois de plus le mouvement relatif de deux composantes du système: l'axe des hanches et l'axe des épaules. Toutefois, le fait d'utiliser une consigne analogique ne favorise pas certainement l'acquisition motrice. Il ne sert à rien de donner une consigne analogique si celle-ci ne porte pas sur les qualités essentielles de la coordination requise. On se rend bien compte que le fait de donner une consigne en javelot comme celle qui suit ne favorise pas l'apprentissage: "Au moment où vous lancez le javelot, imaginez que quelqu'un vous tire la tête en arrière". L'aspect qualitatif sur lequel la consigne met l'accent est tout aussi important que "l'enveloppe" de l'instruction (l'analogie). Aux vues des résultats concernant la variabilité inter-individuelle des différents groupes, de l'utilisation large de l'instruction de haut niveau de description lors de notre première étude et enfin du fait que la tâche demande une coordination spatio-temporelle spécifique entre deux oscillateurs l'information de mouvement relatif, information de haut niveau de description, représente l'information fondamentale à être transmise au débutant qui ne la perçoit pas directement ou tout du moins ne la perçoit pas complètement. Le groupe recevant seulement la simulation était le moins performant en début d'apprentissage. Ces résultats confortent donc notre choix de construire une analogie mettant en évidence le mouvement relatif des deux oscillateurs.

Le but de notre tâche d'apprentissage est d'acquérir une habileté de coordination spatio-temporelle. Dès lors, une instruction mettant en évidence une certaine représentation de la tâche à réaliser semble indispensable. Les instructions imagées et analogiques trouvent ici un intérêt fondamental. En effet, comme le souligne très bien Cadopi (1997), une consigne imagée peut trouver une utilité plus grande lorsque la tâche engagée n'est pas fortement liée à des contraintes d'ordre biomécanique ou à un objectif spatialement repéré que le sujet se doit d'atteindre. Or notre tâche ne demande aucunement un engagement comme défini précédemment. Nous pouvons ainsi prendre en compte les divers résultats et les diverses

recommandations établies lors de l'apprentissage dans des tâches faiblement contraintes biomécaniquement et dont le but est de répondre à un modèle (Paillard, 1980; Cadopi, 1994).

Essayons ainsi d'élaborer une consigne analogique permettant de faciliter la perception du mouvement relatif des oscillateurs. Pour cela, Hanrahan (1994) souligne que la construction de consignes imagées doit répondre à des étapes bien définies. Ainsi, cette construction doit satisfaire à 8 étapes différentes:

- 1-Analyser quelles parties du corps doivent être mobilisées et dans quelle direction.
- 2-Identifier un but positif et spécifique.
- 3-Identifier les qualités et les dynamismes du mouvement souhaité.
- 4-Trouver une forme existante d'énergie appropriée aux dynamismes du mouvement souhaité.
- 5-Déterminer où l'image doit être localisée dans ou hors du corps.
- 6-Déterminer la direction souhaitée du flux d'énergie dans l'image.
- 7-Créer une image avec une énergie appropriée dirigée vers le but de mouvement spécifique et localisée convenablement dans le corps.
- 8-Vérifier si l'image choisie possède une quelconque connotation négative ou un effet possible indésirable.

Aussi, Hanrahan préconise de ne pas se focaliser, lors de la construction de consignes imagées, sur les erreurs possibles mais au contraire sur ce que l'on veut faire imaginer. De plus, la dernière étape est surtout en considération si l'image proposée renvoie à une expérience antérieure négative ou à une destruction. Par exemple, le fait de donner une consigne imagée renvoyant à une notion de boule de feu ou à un objet sortant du corps (comme un *monstre*) peut créer une situation peu propice à l'apprentissage et stressante pour le sujet.

Ces différentes étapes sont liées à une analyse spécifique de la tâche. Nous allons ainsi tenter de construire une instruction analogique en suivant les différentes étapes proposées par Hanrahan dans le but de favoriser l'acquisition de notre habileté spatio-temporelle. L'étape

n°1 de la construction de la consigne imagée demande donc de s'interroger sur les parties du corps qui doivent être mobilisées. Dans le cas d'une tâche de coordination bimanuelle, cette définition est aisée puisque seuls les mouvements de la main droite par rapport à ceux de la main gauche sont révélateurs de l'adaptation requise. Le but de la tâche est de réaliser une coordination avec un décalage de phase entre les mouvements des deux membres oscillants de  $270^\circ$  (ceci en réponse à l'étape n°2). En réponse à l'étape suivante, ce décalage de phase doit être constant tout en répondant à une contrainte de périodicité de la coordination (tâche oscillatoire).

L'étape n°4 cherche à déterminer alors une forme d'énergie appropriée. Rappelons que la tâche est cyclique et donc que les deux oscillateurs reprennent périodiquement la même position (il n'y a aucun réel début ni aucune fin déterminés dans l'exécution de la coordination). Le but est de créer un décalage temporel entre les oscillations de la manette de droite et celles de la manette de gauche. Ce décalage est possible en créant une forme d'énergie entrant en contact avec les deux oscillateurs suivant un décalage temporel. Il existe plusieurs types de formes d'énergie compatibles (l'eau en mouvement, le vent, la conduction de chaleur...). Dès lors, le fait de construire une image centrée sur un phénomène extérieur au corps peut permettre de définir le mouvement de chacun des oscillateurs tout en gardant leur relation. De plus, les différents travaux de Wulf cautionnent l'induction d'un focus attentionnel externe (Wulf et al., 1998, 1999). Le fait de créer une image focalisant sur un phénomène externe ayant des conséquences internes doit pouvoir favoriser l'acquisition motrice. Nous pensions alors construire une image centrée sur une rafale de vent qui peut faire se coucher des arbres que peuvent être les manettes. En effet, une rafale de vent pour peu qu'elle se propage dans l'axe de mouvement des manettes doit permettre de retarder le mouvement d'une manette, induit par la rafale de vent, par rapport à l'autre (phénomène de propagation).

Ensuite, il convient de déterminer la direction souhaitée du flux d'énergie (étape 6). Ici se pose le problème de la périodicité de la coordination requise. En effet, une fois les arbres couchés, ils doivent reprendre leur position initiale, non pas simultanément mais toujours en décalage. Dès lors, on peut imaginer que le vent est une rafale éphémère qui s'estompe une fois les arbres couchés et par effet ressort les arbres reprennent leur position initiale l'un après l'autre, mais ceci sans que les arbres ne restent couchés une certaine période.

Ainsi, une consigne possible pouvant rendre compte du mode de coordination à exécuter, mettant en évidence le mouvement relatif des deux oscillateurs pourrait être la suivante: *"Imaginez une rafale de vent qui fait se coucher les arbres. Elle se propage dans la pièce de votre gauche vers votre droite. Les manettes représentent des arbres qui se couchent l'un après l'autre à chaque rafale de vent. Enfin, imaginez qu'à peine couchés, les arbres reprennent leur position initiale."*

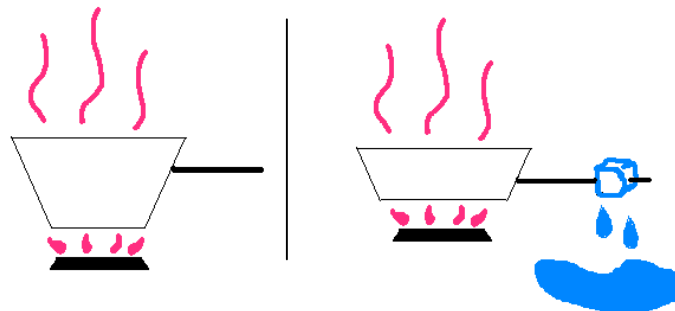
Ici, la consigne n'est pas complète car la tâche est cyclique, il convient d'adapter cette consigne en y introduisant de la périodicité. Cette dernière est rythmée, comme dans l'expérimentation 1, par un bip sonore. Dès lors, il est indispensable de lier la rafale de vent avec le bip sonore. Nous avons donc ajouté à la fin de la consigne imagée: *"Chaque bip sonore correspond à une rafale de vent"*.

Enfin, l'application de l'étape de n°8 de cette instruction rendant compte du mouvement relatif des deux oscillateurs ne met en évidence aucune connotation négative ou destructrice à nos yeux. Cette étape présente la particularité d'être hautement subjective. Elle dépend intégralement du vécu de sujet. Cependant, nous avons essayé d'utiliser une analogie peu destructrice (le vent) pour la plupart des gens, faisant le pari qu'aucun de nos sujets n'ait eu quelconque mauvaise expérience avec le vent.

Cette analogie doit permettre d'activer plus facilement une information comportementale mémorisée plus efficace qu'une description exhaustive de la tâche à réaliser. Toutefois, nous pouvons noter que les études mettant en conflit des consignes analogiques et descriptives n'ont pas réellement assis le potentiel de l'analogie (Renaud, 1989; Laugier, 1995). Cependant l'instruction analogique permet la construction d'une image mentale spécifique. Cette représentation mentale permet de favoriser l'apprentissage moteur (Hanrahan, Tetreau & Sarrazin, 1995), et est considérée comme une aide fondamentale à l'apprentissage (Hanrahan & Salmela, 1990; Hanrahan, 1992).

Un autre avantage de l'utilisation d'une analogie est évoqué par Kurtz et al. (2001). Ces auteurs promeuvent la théorie de l'alignement mutuel. Cette théorie est basée sur la présentation de deux scénarios ou de deux schémas, dont le but est de mettre en évidence un phénomène ou une propriété, peu explicites dans le premier schéma, à partir du deuxième où il apparaît plus évidemment. Cette situation place les sujets dans une double situation où la comparaison est au centre de la relation entre les deux scénarios. Par exemple, prenons le cas

d'un manche de casserole qui est chaud lorsque cette dernière est sur un réchaud. Si nous montrons un schéma décrivant la scène, l'observateur n'en déduira pas que le manche risque d'être brûlant. Par contre, si l'on montre à côté de ce schéma, un deuxième schéma dans lequel on retrouve une poêle mais avec un glaçon fondant à grosses gouttes fixé sur le manche de la casserole, alors l'observateur comprendra plus aisément que le manche de la casserole est un objet chaud qu'il faut manipuler avec précaution (extrait repris d'un exemple décrit par Kurtz et al., 2001 et explicité par la figure 15<sup>3</sup>). Cette double situation permet d'extraire les informations les plus importantes, pour nous le mouvement relatif, mais aussi de retirer les informations plus en surface (Gentner, Rattermann & Forbus, 1993), comme les positions relatives. De plus, l'alignement mutuel permet de renforcer et de favoriser le codage des deux situations induisant un meilleur apprentissage (Forbus, Gentner & Law, 1995).



*Figure 15: Exemple d'une situation d'alignement mutuel.*

Pour toutes ces raisons, il nous semble qu'une instruction analogique doit permettre de favoriser l'acquisition motrice. Ainsi, nous allons mettre en concurrence la consigne analogique que nous venons d'élaborer à un ensemble d'instructions définissant exhaustivement les paramètres susceptibles de favoriser la construction d'une information comportementale attractive. Un groupe de sujets bistables (seulement phase et anti-phase attractives) recevra l'instruction analogique, un deuxième groupe recevra une information décomposant pas à pas la tâche à réaliser (l'information de faible niveau de description de l'expérimentation précédente). Ce même groupe recevra ensuite l'instruction de haut niveau de description de la tâche à réaliser prodiguée lors de la première expérimentation. Cet ensemble important d'informations pourra selon Newell et al. (1990) favoriser l'acquisition motrice. Cependant, cette hypothèse ne va pas dans le sens des résultats d'études récentes

---

<sup>3</sup> Il est clair que la compréhension des schémas est hautement dépendante de leur précision. Cette même précision n'est toutefois pas respectée dans la présente figure.

(Wulf & Weigelt, 1997; Hodges & Lee, 1999; Hodges & Franks, 2000). Donner trop d'informations concernant la tâche à réaliser peut entraîner un focus attentionnel diffus ainsi qu'une spécification peu claire du but premier de la tâche.

Ces différents arguments nous permettent d'émettre l'hypothèse que l'instruction analogique définissant le mouvement relatif des deux composantes entraînera un apprentissage plus rapide qu'un ensemble d'instructions décrivant exhaustivement l'ensemble des qualités requises pour l'exécution de la tâche. Dans ce sens, les premiers patrons de coordination exhibés du groupe recevant l'analogie, que nous nommerons groupe «analogique», devraient être plus stables que ceux du groupe recevant un maximum d'informations descriptives, qui s'appellera quant à lui groupe «exhaustif». Néanmoins, les patrons de coordinations exécutés par le groupe «analogique» devraient être moins précis. En effet, l'instruction analogique définit un décalage entre les oscillations de la manette de droite et celles de la manette de gauche. Ce décalage n'étant pas précisément spécifié nous nous attendons à observer des patrons de coordination autres que les patrons en phase et en anti-phase sans toutefois respecter exactement le mode de coordination requis, le patron à 270°. Enfin, nous nous attendons à retrouver des effets des consignes seulement lors des premières sessions de pratique. En effet, les résultats de l'expérimentation 1 nous laissent présager un effet de la pratique atténuant au fur et à mesure le rôle des instructions. Pour étudier les effets de ces nouvelles informations avant pratique, nous avons globalement repris le même protocole expérimental que celui de la première expérimentation dans le but de pouvoir effectuer une comparaison entre tous les types d'informations donnés avant pratique.

## **2. Méthode**

14 sujets ont participé à cette expérimentation (9 garçons et 5 filles, âge moyen: 24.29 ans +/-2.13). Tous les sujets étaient volontaires et n'avaient jamais participé antérieurement à une étude similaire. Aucun d'entre eux ne fut rétribué pour la réalisation de l'expérimentation. Au début de l'expérimentation les sujets étaient placés de façon aléatoire dans l'un des deux groupes expérimentaux.

### **2.1. Description générale de la tâche de coordination bimanuelle et du matériel**

Le matériel utilisé était identique à celui de la première expérimentation. Il était calibré au début de chaque session d'acquisition. Les contraintes liées à l'exécution des différentes tâches étaient identiques à celles de l'expérimentation 1. Elles étaient écrites, et une fois lues les participants pouvaient questionner l'expérimentateur en cas de mauvaise compréhension.

Les sujets devaient réaliser 4 sessions d'apprentissage sur 4 jours consécutifs (un jour maximum de repos entre chaque session) ainsi qu'une session de rétention 8 à 10 jours après la dernière session d'apprentissage. Le protocole expérimental repris dans le tableau 2 se déroulait comme suit (les directives propres à chaque tâche étaient identiques à celles de l'expérimentation 1 tout comme les retours d'information):

Session 1	Familiarisation à la tâche  Phase et anti-phase	Exploration de la dynamique intrinsèque (0°→180°)	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)
Session 2	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)		
Session 3	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)		
Session 4	Acquisition motrice (5 blocs de 9 essais)	Exploration de la dynamique intrinsèque (0°→180°)	Rétention immédiate: 3 essais sans retour d'information
Session de rétention	Exploration de la dynamique intrinsèque (0°→180°)	Rétention: 3 essais sans retour d'information	

Tableau 2: Tableau récapitulatif des sessions expérimentales.

*1<sup>ère</sup> session:*

- familiarisation à la tâche de coordination bimanuelle (pour plus de précisions voir développement dans l'expérimentation 1).

- exploration de la dynamique intrinsèque  $180^{\circ} \rightarrow 360^{\circ}$ . Cette exploration entraînait l'exclusion des sujets présentant une dynamique de coordination autre que bistable. Un sujet a été exclu de l'expérimentation. Il présentait des patrons de coordinations à  $240^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$  et  $300^{\circ}$  relativement stables et précis.

- phase d'apprentissage: les sujets devaient réaliser une tâche de coordination bimanuelle à  $270^{\circ}$  durant 5 blocs de 9 essais de 15 s chacun. Il était demandé à tous les sujets de réaliser une coordination identique à celle démontrée lors de la simulation qui était présentée à tous les sujets au début de chaque bloc de pratique (la simulation était similaire à celle de l'expérimentation 1).

*2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> sessions:* Seule la session d'apprentissage était réalisée dans les mêmes conditions que le premier jour d'expérimentation.

*4<sup>ème</sup> session:* Identique aux deux précédentes avec additionnellement une exploration de la dynamique intrinsèque, suivie de l'exécution de 3 essais de rétention immédiate dans les mêmes conditions que les essais de pratique hormis le non-rappel des diverses instructions données avant chaque bloc de pratique.

*Session de rétention:* Cette session comportait une exploration de la dynamique intrinsèque suivie de l'exécution de 3 essais de 15 s de rétention dans les mêmes conditions que celles de la 4<sup>ème</sup> session.

## 2.2. Les instructions

Les sujets étaient répartis dans les deux groupes («exhaustif» et «analogique») se différenciant de par les instructions reçues avant apprentissage. Avant de recevoir ses instructions spécifiques chaque sujet regardait une simulation informatique de la tâche à réaliser. Une fois cette simulation de 15 s donnée, le groupe «exhaustif» recevait une décomposition pas à pas de la tâche à réaliser. Cette décomposition mettait en avant 5 captures d'écran définissant successivement la position de chaque manette par rapport à l'autre lorsque l'une d'elle se trouvait à un point de revirement. Les 5 écrans définissaient un cycle complet d'oscillation. Ensuite, ces mêmes sujets recevaient l'information de haut niveau de description de la tâche à réaliser détaillée dans l'expérimentation 1.

Parallèlement, le groupe «analogique» recevait la consigne analogique présentée dans la partie théorique de cette deuxième expérimentation. Pour faciliter le double codage

(verbal/non verbal), cette instruction était donnée à l'oral et par écrit (sur l'écran de l'ordinateur donnant la simulation de la tâche à réaliser). De plus, l'expérimentateur démontrait avec ses mains une rafale de vent (en formant un ensemble avec ses deux mains) qui se déplaçait de la gauche vers la droite. Ensuite, au moment où l'expérimentateur expliquait: "les manettes représentent des arbres qui se couchent l'un après l'autre à chaque rafale de vent", celui-ci déplaçait sa main de la gauche vers la droite au niveau des manettes les faisant s'incliner vers la droite du sujet l'une après l'autre. Enfin, au moment où l'expérimentateur disait: "Enfin, imaginez qu'à peine couchés, les arbres reprennent, l'un après l'autre, leur position initiale", l'expérimentateur relevait les manettes l'une après l'autre en commençant par la manette de gauche spécifiant à nouveau le décalage entre les oscillations des deux manettes.

Pendant que les sujets recevaient chacune des instructions il leur était demandé de ne pas entrer en contact avec les manettes.

### 2.3. Analyse des données et variables dépendantes

Les séries temporelles obtenues sur l'ensemble d'un essai caractérisant les positions angulaires de chacune des manettes ont permis, après filtrage à une fréquence de coupure de 10Hz (filtre de Butterworth), le calcul de la phase relative suivant la méthode de l'estimation ponctuelle tant pour les essais d'apprentissage, de rétention que des essais déterminant la dynamique intrinsèque. Ainsi, nous avons calculé la valeur du décalage de phase des deux oscillateurs lorsque l'un d'eux se trouvait à un point de revirement. Ensuite nous avons calculé cinq variables dépendantes distinctes: l'erreur absolue au patron requis, la phase relative moyenne ainsi que l'écart-type de la phase relative pour chaque essai, les consistances collectives de précision et d'attraction (voir détails dans l'expérimentation précédente). Pour ce qui est de la phase d'apprentissage, nous avons moyenné ces valeurs pour chaque bloc de pratique.

Nous avons ensuite soumis les valeurs de chaque variable à une ANOVA 2 (groupe) X 4 (jour) X 5 (bloc) avec mesure répétée sur les deux derniers facteurs. Le seuil de significativité était fixé à  $p < 0.05$ . Les tests statistiques post-hoc de Scheffé ont été utilisés pour localiser les effets significatifs.

Les effets à long terme de l'apprentissage ont été mis en évidence avec une ANOVA 2 (groupe) X 3 (session) X 3 (essai) avec mesure répétée pour les deux derniers facteurs. Cette

analyse prenait en compte les 3 derniers essais du dernier bloc du dernier jour d'apprentissage ainsi que les 3 essais de rétention immédiate et ceux exécutés lors de la session de rétention à long terme.

Enfin, nous avons analysé les effets de l'apprentissage du patron de coordination à 270° et des instructions sur la dynamique intrinsèque grâce à une ANOVA 2 (groupe) X 3 (jour) X 7 (coordination) avec mesure répétée pour les deux derniers facteurs. Lors de cette analyse seules l'erreur au patron requis et la variabilité des patrons exécutés étaient prises en considération.

### 3. Résultats

#### 3.1. Apprentissage

##### 3.1.1. Décalage de phase moyen des patrons de coordination exécutés

La phase relative des patrons exécutés lors de l'apprentissage, représentée par la figure 16, augmentait significativement au cours de la pratique (effet jour:  $F(3,36)=15.25$ ,  $p<0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}=238.74^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=263.40^\circ$ ). Cette augmentation était due à une différence entre les patrons de coordination exécutés lors du premier jour de pratique et ceux des jours suivants ( $p<0.01$  quel que soit le jour concerné). Durant chaque jour de pratique, la phase relative augmentait comme en témoigne l'effet bloc (effet bloc:  $F(4,48)=8.72$ ,  $p<0.01$ ). Le décalage de phase exhibé lors des deux premiers blocs de pratique était significativement plus faible que celui des deux derniers blocs (bloc1/bloc4:  $p<0.01$ ; bloc1/bloc5:  $p<0.01$ ; bloc2/bloc4:  $p<0.05$  et bloc2/bloc5:  $p<0.05$ ), aussi, le décalage de phase du bloc1 était inférieur à celui du bloc3 ( $p<0.05$ ). Nous avons également observé une interaction jour X bloc ( $F(12,144)=4.27$ ,  $p<0.01$ ). La phase relative des patrons exécutés augmentait de façon plus importante lors des premiers blocs du premier jour.

Nous pouvons noter que la phase relative moyenne n'évoluait plus en fin d'apprentissage comme en témoigne l'analyse à long terme. Nous n'avons relevé aucune différence statistique entre les différents essais pris en compte ( $p>0.05$  quel que soit le test et l'effet pris en compte).

Enfin, nous n'avons constaté aucun effet significatif impliquant le facteur groupe. Les patrons de coordination des deux groupes ne se différenciaient pas par le décalage de phase moyen.

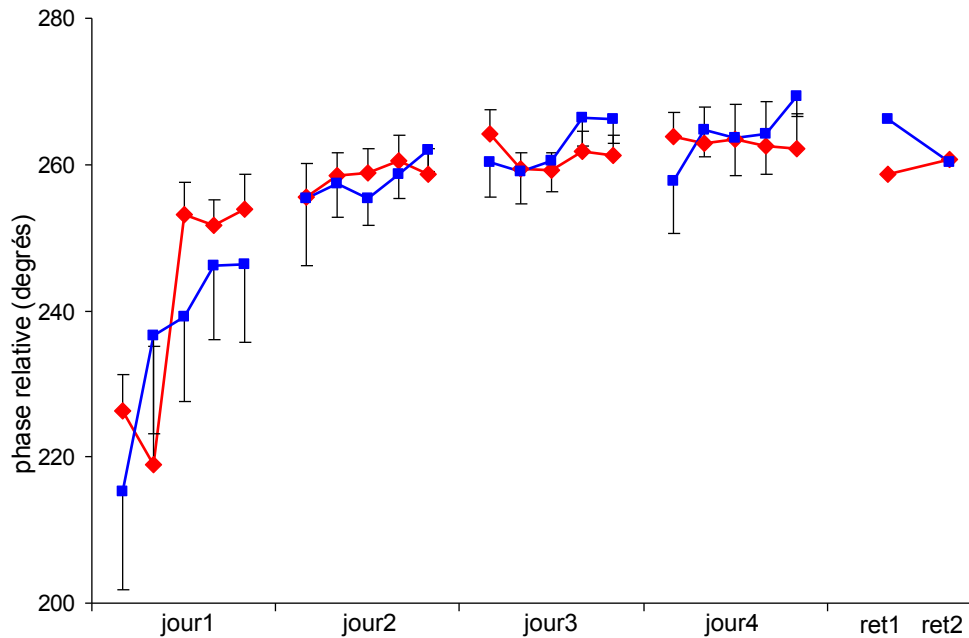


Figure 16: Evolution de la phase relative au cours de la pratique (losange et courbe rouges: groupe «exhaustif», carré et courbe bleus: groupe «analogique»). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne.

### 3.1.2. Erreur absolue au patron requis

Comme le laissait présupposer les résultats concernant la phase relative moyenne des patrons exécutés, l'erreur au patron requis diminue rapidement durant la pratique (voir figure 17). Nous avons retrouvé un effet statistique des facteurs jour ( $F(3,36)=17.36$ ,  $p<0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}>m$  de tous les autres jours,  $p<0.01$  quel que soit le test post hoc pris en compte;  $m_{\text{jour1}}=33.83^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=11.59^\circ$ ), bloc ( $F(4,48)=8.32$ ,  $p<0.01$  avec  $m_{\text{bloc1}}>m_{\text{bloc2}}$ ,  $p<0.05$ ;  $m_{\text{bloc1}}>m_{\text{bloc3,4,5}}$ ,  $p<0.01$  et enfin  $m_{\text{bloc2}}>m_{\text{bloc5}}$ ,  $p<0.05$ ;  $m_{\text{bloc1}}=23.86^\circ$  et  $m_{\text{bloc5}}=13.68^\circ$ ). Ensuite, la baisse de l'erreur était beaucoup plus importante lors des deux premiers blocs d'apprentissage (voir figure 16). Ce résultat est mis en évidence grâce à un effet d'interaction jour X bloc ( $F(12,144)=5.19$ ,  $p<0.01$ ). Aucun effet significatif n'a permis de différencier les deux groupes. Ces derniers exécutaient des patrons de coordination aussi précis ou imprécis malgré la différence d'instruction.

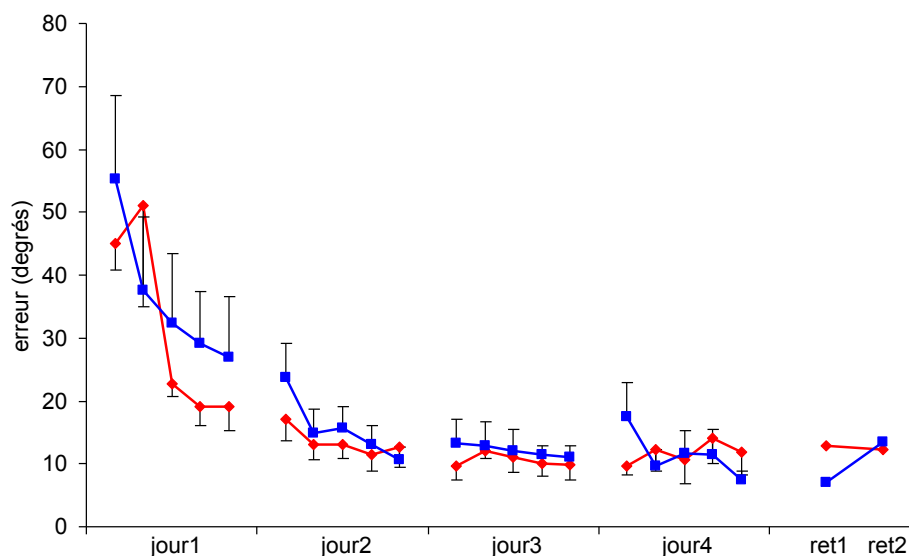


Figure 17: Evolution de l'erreur au patron requis en fonction du temps de pratique (losange et courbe rouges: groupe «exhaustif», carré et courbe bleus: groupe «analogique»). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne.

Enfin, cette précision acquise perdurait. En effet, aucune différence n'était observée lors du test prenant en compte les essais de rétention. Cependant, un effet d'interaction session X essai était significatif ( $F(4,48)=3.70$ ,  $p<0.05$ ). Cet effet était dû à une légère baisse de la précision des patrons exécutés entre le premier essai pris en compte lors de la session d'apprentissage (soit le septième essai du dernier bloc d'apprentissage) et le deuxième essai de la session de rétention à long terme ( $p<0.01$  avec  $m_{\text{session1essai1}}=8.62^\circ$  et  $m_{\text{session3essai2}}=14.68^\circ$ ). Cet effet n'était que transitoire car il ne fut pas retrouvé en prenant en compte le dernier essai de la session de rétention.

### 3.1.3. Variabilité des patrons exécutés

L'analyse de l'évolution de la variabilité des patrons exécutés est d'autant plus intéressante qu'elle renvoie au seul effet significatif mettant en jeu le facteur groupe. Tout d'abord, les traitements statistiques, ainsi que le graphique de la figure 18, indiquent une stabilisation rapide des patrons de coordination exécutés. Ainsi, nous avons pu noter un effet significatif du facteur jour ( $F(3,36)=19.64$ ,  $p<0.01$ ) avec une différence significative entre la variabilité du premier jour et celle des jours suivants ( $p<0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}=23.75^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=16.76^\circ$ ).

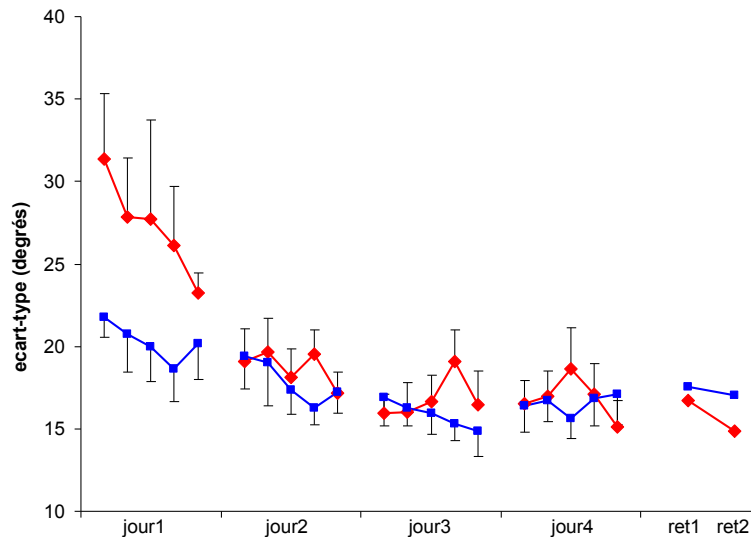


Figure 18: Evolution de la variabilité des patrons exécutés au cours de la pratique (losanges et courbe rouges: groupe «exhaustif», carrés et courbe bleus: groupe «analogique»). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne.

Comme nous en avons fait l'hypothèse, les patrons de coordination du groupe «analogique» étaient significativement plus stables, lors du premier jour de pratique, que ceux du groupe «exhaustif». Ce résultat était attesté par un effet d'interaction jour X groupe ( $F(3,36)=4.14$ ,  $p<0.05$ ) et plus précisément par une différence entre la variabilité des patrons exécutés des deux groupes lors du premier jour d'apprentissage ( $F(1,12)=8.84$ ,  $p<0.05$  avec  $m_{\text{analogique}}=20.25^\circ$  et  $m_{\text{exhaustif}}=27.25^\circ$ ). Le groupe «analogique» exécutait des patrons de coordination à peu près aussi stables tout au long de l'apprentissage: le seul effet principal significatif mettait en évidence une différence entre la stabilité des patrons exécutés lors du premier jour et celle des patrons exécutés lors du troisième jour d'apprentissage ( $F(1,12)=4.87$ ,  $p<0.05$  avec  $m_{\text{jour1}}=20.25^\circ$  et  $m_{\text{jour3}}=15.85^\circ$ ). Cette baisse n'était que transitoire car nous n'avons pas noté de différence entre le jour 1 et le jour 4. D'autre part, la baisse de la variabilité des patrons de coordinations exhibés par le groupe «exhaustif» était plus prononcée. Ainsi, la différence entre la variabilité des patrons exécutés était significative entre le premier jour de pratique et les jours suivants (jour1/tous les jours suivants,  $p<0.01$ ).

Les modes de coordinations exhibés demeuraient stables au bout de 8 à 10 jours tout comme après l'exécution d'une tâche d'interférence (l'exploration de la dynamique intrinsèque) lors du quatrième jour de pratique. En effet, les patrons effectués lors des trois derniers essais d'apprentissage étaient aussi stables que ceux réalisés après l'exploration de la

dynamique intrinsèque lors du quatrième jour de pratique et lors de la session de rétention ( $p > 0.05$ ).

### 3.1.4. Consistance collective de précision

Pour un même groupe, le carré des écarts à la moyenne de l'erreur au patron requis tendaient à baisser avec la pratique (effet jour,  $F(3,36)=10.77$ ,  $p < 0.01$  avec une différence entre le jour1 et tous les autres,  $p < 0.01$  avec  $m_{\text{jour1}}=1835.88$  et  $m_{\text{jour4}}=216.65$ ; effet bloc,  $F(4,48)=3.40$ ,  $p < 0.05$  avec test post-hoc significatif; effet d'interaction jour X bloc,  $F(12,144)=2.75$ ,  $p < 0.01$  dû à une baisse plus importante des écarts à la moyenne lors du premier jour). Nous n'avons mis en évidence aucun effet lié au facteur groupe. Ainsi, l'information comportementale activée était très individuelle en début de pratique ensuite elle se normalisait dès le deuxième jour de pratique.

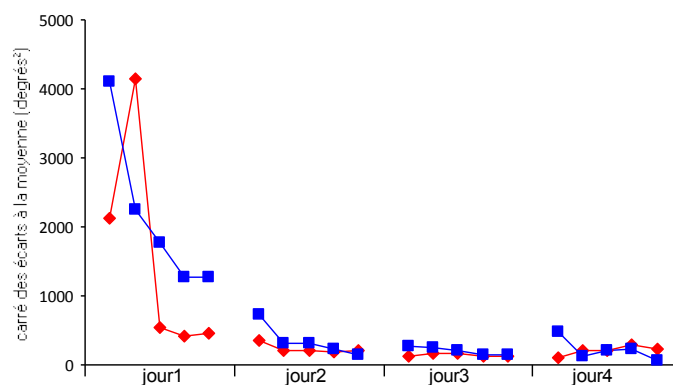


Figure 19: Evolution de la consistance collective de précision au cours de la pratique (carrés bleus: groupe «analogique», losanges rouges: groupe «exhaustif»).

### 3.1.5. Consistance collective d'attraction

L'évolution de cette variable est remarquable de par le fait qu'elle indique une différence entre les deux groupes (voir figure 20). Tout d'abord nous pouvons noter que la consistance collective tend à être meilleure à travers le temps (effet du facteur jour:  $F(3,36)=4.81$ ,  $p < 0.01$  avec une différence entre le jour1 et les autres jours de pratique,  $p < 0.05$  quel que soit le test pris en compte,  $m_{\text{jour1}}=95.53^{\circ 2}$  et  $m_{\text{jour4}}=22.98^{\circ 2}$ ). Nous avons noté un effet d'interaction groupe X jour ( $F(3,36)=3.11$ ,  $p < 0.05$ ). Ainsi, le niveau de stabilité de l'information comportementale mémorisée était plus consistant d'un sujet à l'autre pour le groupe recevant la consigne analogique lors du premier jour de pratique.

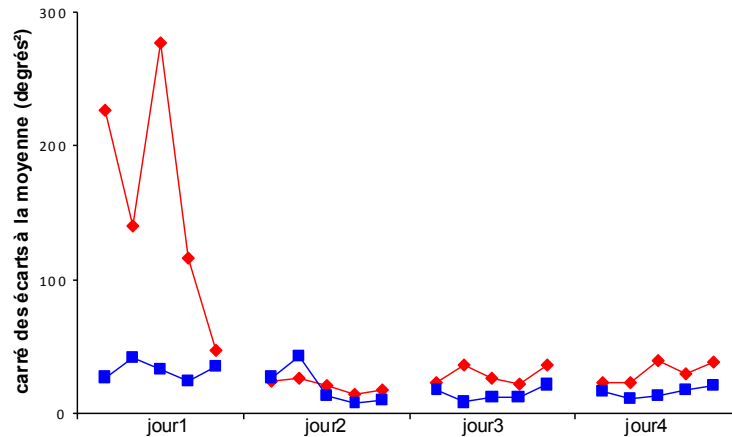


Figure 20: Evolution de la consistance collective d'attraction au cours de la pratique (carrés bleus: groupe «analogique», losanges rouges: groupe «exhaustif»).

### 3.2. Dynamique intrinsèque

#### 3.2.1. Erreur absolue au patron requis

L'étude de l'erreur absolue a permis de mettre en évidence une modification profonde de la dynamique intrinsèque due à l'apprentissage d'une tâche de coordination bimanuelle à  $270^\circ$  (voir figure 21). Ainsi, les traitements statistiques mettent en lumière un effet significatif du facteur jour ( $F(2,24)=24.90$ ,  $p<0.01$ ,  $m_{\text{jour1}}=48.08^\circ$ ,  $m_{\text{jour4}}=29.61^\circ$  et  $m_{\text{rétention}}=29.77^\circ$ ). Les patrons de coordination exécutés étaient globalement plus précis en fin d'apprentissage (différence significative entre le premier jour et le dernier jour d'apprentissage,  $p<0.01$ ). Cet effet était maintenu à long terme comme en témoigne la différence significative entre le premier jour et le jour de rétention ( $p<0.01$ ) et la différence non-significative entre l'erreur des patrons exécutés lors du quatrième jour de pratique et celle des patrons exécutés lors de la session de rétention à long terme ( $p>0.05$ ).

Comme nous pouvions nous y attendre, les traitements statistiques mettent en évidence un effet du facteur coordination ( $F(6,72)=101.43$ ,  $p<0.01$ ). Tout au long de l'expérimentation, les patrons de coordination en phase et en anti-phase étaient aussi précis l'un que l'autre (pas de différence significative entre l'exactitude de ces deux patrons). De plus, ces deux patrons étaient exécutés plus précisément que les autres (différence entre les patrons en phase et anti-phase et les autres avec  $p<0.01$  quel que soit le test pris en compte,  $m_{180^\circ}=5.42^\circ$ ,  $m_{210^\circ}=33.80^\circ$ ,  $m_{240^\circ}=25.68^\circ$ ,  $m_{270^\circ}=34.41^\circ$ ,  $m_{300^\circ}=59.98^\circ$ ,  $m_{330^\circ}=85.77^\circ$ ,  $m_{360^\circ}=5.67^\circ$ ). Nous avons pu également noter que les patrons exécutés lorsque les patrons requis demandaient une

coordination bimanuelle à 300° et à 330° étaient moins précis que tous les autres ( $p < 0.01$  quel que soit le test pris en compte), de même le patron à 300° était pratiqué plus précisément que le patron à 330° ( $p < 0.01$ ).

La tâche d'apprentissage a modifié de manière plus localisée la dynamique intrinsèque. Nous avons noté un effet d'interaction jour X coordination ( $F(12,144)=13.03$ ,  $p < 0.01$ ). Ainsi, les patrons de coordination à 240° et 270° sont devenus statistiquement aussi stables en fin d'apprentissage que les patrons de coordination en phase et en anti-phase. Cette absence de différence significative perdurait au moment du test de rétention à long terme. De même, l'exécution du patron à 210° était tout aussi précise que celle du patron en phase lors du test réalisé en fin de session d'apprentissage. Les traitements statistiques indiquaient une différence significative concernant ces deux patrons de coordination entre l'exploration du premier jour et celle de la rétention à long terme ( $p < 0.01$ ). Cette précision acquise grâce à l'apprentissage n'était donc que temporaire. Aussi, comme nous l'avons retrouvé dans l'expérimentation 1, il n'y a eu aucune modification des patrons en phase et en anti-phase due à l'apprentissage du patron de coordination à 270°.

Enfin, nous n'avons remarqué aucun effet significatif dû au facteur groupe. Donner une instruction spécifique ne modifie pas de manière différenciée la dynamique intrinsèque.

### 3.2.2. Variabilité des patrons exécutés

En dépit d'un graphique suggérant une différence d'adaptation des sujets recevant l'instruction analogique (voir figure 22), les traitements statistiques n'indiquent aucune différence entre les deux groupes concernant la variabilité des patrons exécutés lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque.

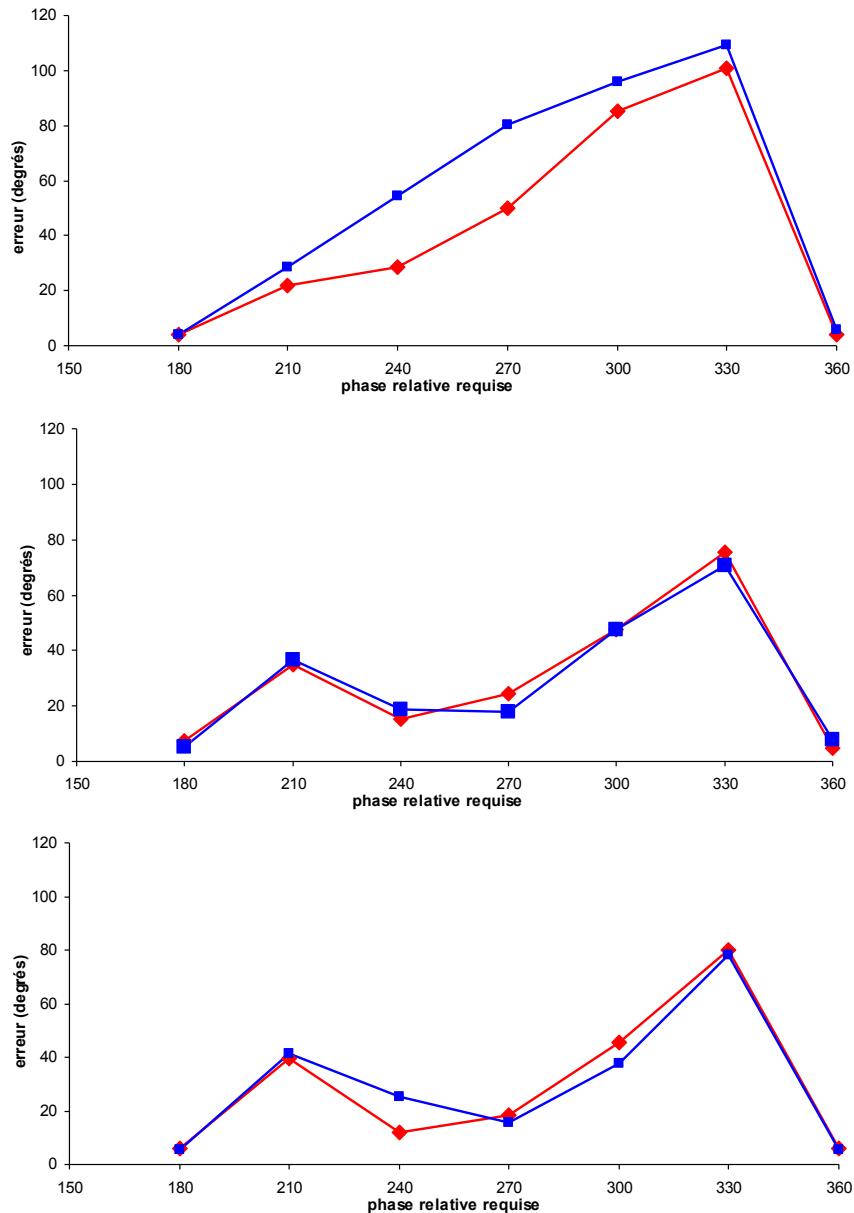


Figure 21: Evolution de l'erreur au patron requis lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque. Les carrés bleus représentent l'erreur pour le groupe «analogique» et les losanges rouges l'erreur concernant le groupe «exhaustif» (graphe du haut: premier jour, graphe du milieu: quatrième jour, graphe du bas: session de rétention).

Les effets principaux sont les mêmes à ceux retrouvés pour l'erreur au patron requis (effet jour,  $F(2,24)=5.37$ ,  $p<0.01$ ; effet coordination,  $F(6,72)=30.90$ ,  $p<0.01$  et effet jour X coordination,  $F(12,144)=2.52$ ,  $p<0.01$ ). Cette modification de la dynamique intrinsèque ne s'est effectuée qu'après un certain temps. En effet, nous n'avons noté aucune différence significative entre le premier jour et le test réalisé à la fin de l'apprentissage ( $p>0.05$ ,  $m_{\text{jour1}}=23.74^\circ$  et  $m_{\text{jour4}}=19.42^\circ$ ). Par contre, les résultats statistiques indiquaient une différence entre le premier jour et le jour de rétention à long terme ( $p<0.05$  avec  $m_{\text{rétention}}=18.03^\circ$ ).

Globalement, les patrons en phase et en anti-phase étaient plus stables que l'ensemble des autres patrons de coordination (différence entre les patrons en phase et en anti-phase avec les autres patrons de coordination,  $p < 0.01$  quel que soit le test pris en compte avec  $m_{180^\circ} = 10.58^\circ$ ,  $m_{210^\circ} = 21.87^\circ$ ,  $m_{240^\circ} = 22.36^\circ$ ,  $m_{270^\circ} = 23.45^\circ$ ,  $m_{300^\circ} = 24.67^\circ$ ,  $m_{330^\circ} = 27.45^\circ$  et  $m_{360^\circ} = 12.39^\circ$ ).

Enfin, l'analyse statistique révélait une stabilisation des patrons à  $240^\circ$ ,  $270^\circ$  et  $300^\circ$  aussi importante que le niveau de stabilité des patrons en phase et en anti-phase ( $p > 0.05$  pour tous les tests prenant en compte les patrons requis lors de l'exploration diagnostique de la dynamique intrinsèque et celle de la journée de rétention à long terme). De plus, nous avons pu observer que le patron de coordination à  $210^\circ$  était statistiquement accompli de manière aussi consistante que les patrons de coordination en phase et en anti-phase tout au long de l'expérimentation.

#### **4. Discussion**

Le but de cette expérimentation était d'étudier l'effet de deux types d'instructions sur l'acquisition d'une habileté bimanuelle à  $270^\circ$  de décalage de phase. Nous avons émis l'hypothèse qu'une instruction analogique définissant le mouvement relatif des deux oscillateurs facilite davantage l'acquisition d'une habileté motrice qu'un ensemble d'instructions décomposant exhaustivement la position et le mouvement relatif des oscillateurs impliqués.

Les résultats mettent en évidence un effet précoce de la consigne analogique. En début d'apprentissage, le groupe recevant ce type de consignes a produit des patrons de coordination plus stables que le groupe «exhaustif». L'ensemble des sujets, quel que soit le groupe, a été capable en fin d'apprentissage de réaliser le patron de coordination requis de manière stable et précise. Cette adaptation fut relativement rapide. En effet, les adaptations majeures des sujets ont eu lieu lors des deux premiers jours de pratique. Ce changement de la dynamique de coordination entre en complète adéquation avec les résultats exposés dans la littérature (Vereijken, 1991; Wulf et al., 1998), qui mettent en évidence le caractère déterminant des premiers essais.

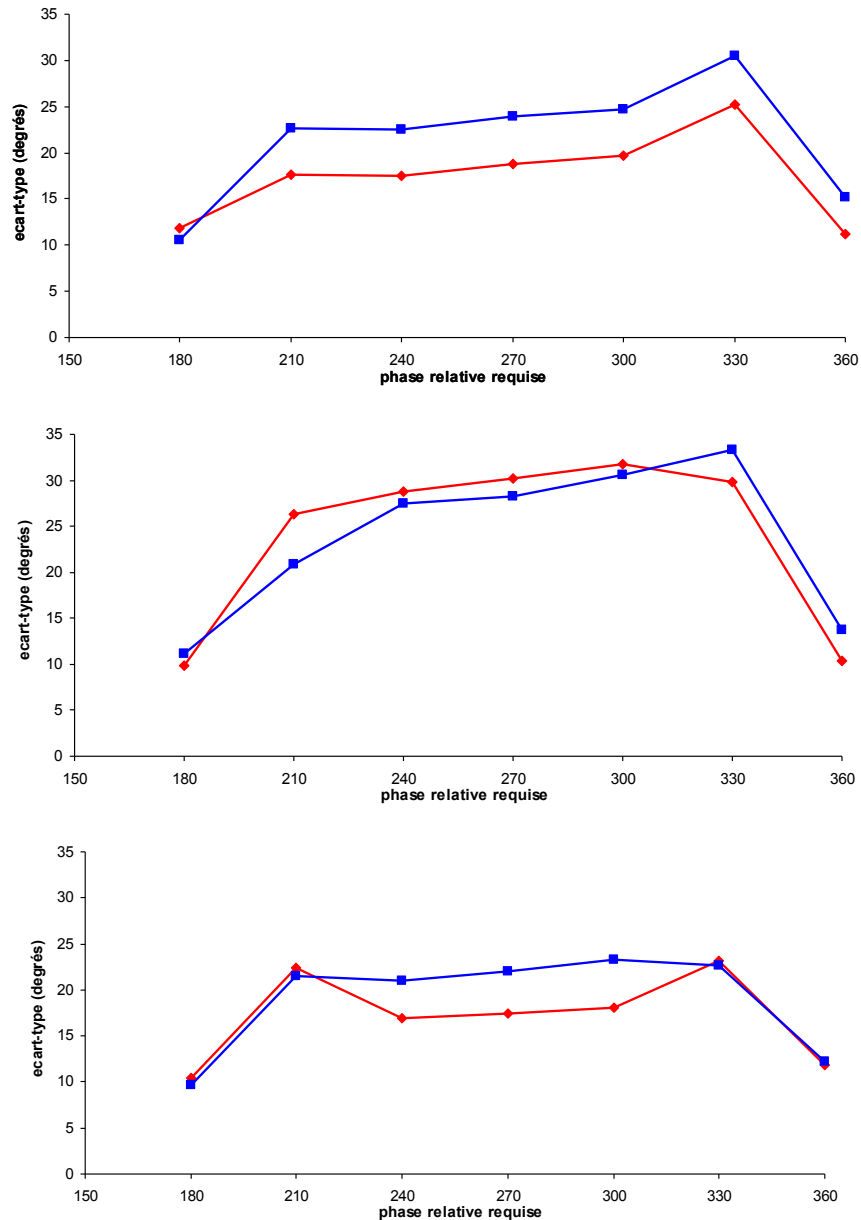


Figure 22: Evolution de la variabilité des patrons exécutés lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque. Les carrés bleus représentent l'erreur pour le groupe «analogique» et les losanges rouges l'erreur concernant le groupe «exhaustif» (graphe du haut: premier jour, graphe du milieu: quatrième jour, graphe du bas: session de rétention).

Ensuite, comme lors de notre première expérimentation, nous n'avons noté que très peu de biais vers le patron en phase. Ainsi, nos résultats ne confortent pas ceux de Fontaine et al. (1997). Renforcés par les résultats de notre première expérimentation et ceux de Hodges et Franks (2000, 2001), nous pouvons donc émettre l'hypothèse selon laquelle, grâce aux informations avant pratique, il est possible d'inhiber l'attraction d'un des deux patrons de coordination intrinsèques. Sans toutefois s'appuyer sur le patron en anti-phase, les sujets

produisaient des modes de coordination situés entre le patron en anti-phase et le patron requis. Le montage d'une nouvelle étude ajoutant un groupe expérimental ne recevant aucune information avant pratique permettrait de valider cette hypothèse.

L'instruction analogique de haut niveau de description de la tâche à réaliser semble être une information évoquant très rapidement une information comportementale mémorisée puissante. En effet, les premiers patrons de coordination exécutés étaient statistiquement plus stables que ceux du groupe «exhaustif». L'analogie semble créer un lien plus direct entre la perception et l'action en englobant l'interaction entre les différents sous-systèmes constitutifs. Ainsi, une information comportementale relativement puissante permet une stabilisation d'un patron de coordination autre que les patrons intrinsèques. Cependant et comme nous l'émettions en hypothèse, les patrons de coordination de ce groupe n'étaient pas plus précis que ceux du groupe «exhaustif». Dans ce sens, l'analogie permet l'utilisation d'une information comportementale attractive mais ne spécifie pas exactement le patron de coordination requis. Ce résultat est aussi mis en avant par l'étude la consistance collective de précision. Comme le montraient Zanone et Kelso (1997), la dynamique des coordinations est hautement individuelle. La consistance collective de précision des informations comportementales était faible en début d'apprentissage pour le groupe analogique. Elle était statistiquement aussi faible pour le groupe «exhaustif» malgré une différence visuelle sur la figure 18 lors des derniers blocs du premier jour de pratique. La figure 19 concernant la consistance collective d'attraction des informations comportementales met en évidence une plus grande stabilité intra-groupe de la puissance attractive des informations comportementales pour le groupe recevant l'analogie. Le pouvoir attractif de l'information comportementale évoquée par un sujet du groupe «exhaustif» est d'une part plus faible et d'autre part très individuelle. Au vu de ces résultats, il semble que le groupe «exhaustif» n'utilise pas une information comportementale puissante. Cependant, sa précision était légèrement supérieure. Il semble que les sujets du groupe «analogique» "utilisent" une information comportementale puissante, la phase relative mémorisée variant d'un sujet à un autre en début d'apprentissage. Le fait de décrire exhaustivement les positions et les mouvements relatifs des oscillateurs permet la construction d'une information comportementale peu puissante mais légèrement plus constante en terme de décalage de phase mémorisé à travers les sujets.

Plus précisément, les patrons de coordination exhibés par le groupe «exhaustif» sont en début d'apprentissage instables et peu précis en rapport à ceux du groupe «analogique». Ces modes de coordination laissent place en milieu et fin d'apprentissage à des modes de coordination à la fois plus précis et plus stables. Ainsi, il semble que l'information comportementale activée par ce groupe était en construction tout au long de l'expérimentation. Les adaptations des sujets de ce groupe consistaient en l'élaboration d'une information comportementale mémorisée. Cette hypothèse est asservie au travail théorique de Schöner (1989). En effet, les premiers modes de coordination n'étaient pas ou peu caractérisés par un conflit entre la dynamique intrinsèque et une information mémorisée. Cette adaptation définit une stratégie d'apprentissage par découverte. Ainsi, il est possible de lier la stratégie d'apprentissage à l'évolution de l'information comportementale. Une stratégie d'apprentissage par découverte se définit par la construction d'une information comportementale mémorisée. Cette construction progressive entraînait des changements qualitatifs importants de la dynamique de coordination.

Différemment, le groupe «analogique» ne se plaçait pas dans les mêmes dispositions. En effet, les patrons de coordination étaient en début d'apprentissage significativement plus stables mais tout aussi imprécis que ceux du groupe «exhaustif». Comme le décrit théoriquement Schöner (1989), l'information comportementale mémorisée est alors plus puissante que celle du groupe «exhaustif». La valeur du patron de coordination mémorisé était hautement individuelle mais sa force relativement consistante d'un sujet à l'autre. Cependant, la pratique a permis une adaptation de l'information comportementale. La variabilité des patrons exécutés restait relativement stable tout au long de la phase d'apprentissage. Parallèlement, l'erreur au patron requis et la phase relative moyenne évoluaient jusqu'au mode de coordination requis. Ainsi, ce groupe était caractérisé par une relative stabilité de la force attractive de l'information comportementale mémorisée et une précision du patron de coordination mémorisé. Nous pouvons donc définir la situation d'apprentissage de ce groupe comme une situation «d'optimisation» du patron de coordination mémorisé.

Donner des instructions produit des situations d'apprentissage spécifiques. Une instruction analogique définissant le mouvement relatif des deux oscillateurs permet l'utilisation précoce d'une information comportementale mémorisée. Par contre, une instruction définissant exhaustivement le mouvement relatif et la position relative de chacun des oscillateurs entraîne l'activation d'une piètre information comportementale mémorisée.

Cependant, la pratique motrice et les contraintes de la tâche que nous avons mises en place permettent d'acquérir une information comportementale mémorisée efficiente.

L'instruction analogique a permis l'élaboration d'une information comportementale mémorisée relativement attractive dès les premiers essais d'apprentissage. Il semble ainsi que la compréhension de la dynamique de la tâche soit facilitée par une consigne renvoyant à une référence déjà acquise (le but de l'analogie). Comme nous pouvions le supposer, l'analogie facilite le lien perception/action par l'utilisation et l'évocation d'une information pré-mémorisée. Ainsi, l'analogie facilite la création d'un patron de référence de correction (Gentile, 1972; Carroll & Bandura, 1982; Swinnen, 1996; Hodges & Lee, 1999). Nous pouvons supposer que cette référence de correction permet d'éviter la déstabilisation du patron exécuté. Dans ce sens, lorsque le sujet s'éloigne du mode de coordination requis, il est rapidement attiré à nouveau par le patron de coordination mémorisé. Cette hypothèse liée au plus grand pouvoir attractif de l'information mémorisée pour le groupe «analogique» expliquerait une stabilisation plus importante des patrons de coordination exécutés, et ce dès les premiers essais. Pour valider cette hypothèse, il faudrait entreprendre une analyse en série temporelle des données (Delignières, Deschamps, Legros & Caillou, in press; Delcor, Cadopi, Delignières & Mesure, in press). Mais ce type d'analyse sort du cadre que nous nous sommes fixé. L'avantage certain de ce type d'analyse porte sur la référence prise en compte pour évaluer les fluctuations. En effet, ce qui différencie ce type d'analyse de l'analyse des consistances collectives que nous avons menée est la référence prise en compte. Ici la référence est une référence collective à un groupe (l'erreur ou la variabilité moyenne d'un groupe). Or l'intérêt des analyses en séries temporelles réside dans le fait que la référence est individuelle et propre au sujet analysé ainsi les résultats sont d'autant plus précis et intéressants qu'ils se rapportent à une évolution propre du sujet. Nous pourrions émettre l'hypothèse que les patrons de coordination des sujets du groupe analogique évolueraient autour d'une valeur spécifique, s'en écartant puis revenant à nouveau à proximité de cette référence. Le groupe «exhaustif» présenterait quant à lui une évolution plus libre de la phase relative dépourvu de référence de correction attractive.

Le succès de l'instruction analogique réside aussi dans ces effets indirects. En effet, il nous est arrivé, sans le quantifier réellement, de voir des sujets de ce groupe fermer les yeux très régulièrement. Ce signe nous amène à penser qu'une instruction analogique met le sujet dans une activité d'imagerie mentale souvent accompagnée de la fermeture des yeux. Cette

imagerie, du fait d'avoir les yeux clos, posséderait une tendance plutôt kinesthésique. Une consigne analogique favoriserait la création d'une image kinesthésique alors que le décomposition du mouvement inciterait à une imagerie plutôt visuo-spatiale (Hall, 1980; Housner, 1984; Annett, 1994). A l'appui de cette idée, nous avons aussi remarqué que la plupart des sujets recevant l'instruction analogique effectuaient des bascules latérales du corps, comme pour "ressentir" la rafale de vent. Cette information semble confirmer notre hypothèse mais seule une exploration plus approfondie et appropriée pourrait vérifier ce résultat de manière consistante.

La plus faible variabilité des patrons exécutés par les sujets du groupe «analogique» pourrait également être expliquée par une baisse du stress et de l'effort impliqués dans la réalisation de la tâche (Hanrahan & Salmela, 1990, 1986; Hanrahan, 1994; Hanrahan et al., 1995). Cette situation de stress aurait tendance à inhiber le pouvoir attractif de l'information comportementale, ne facilitant ainsi pas le dépassement des coordinations spontanées. Il semble que les sujets du groupe «exhaustif» aient plus de difficultés à outrepasser le pouvoir attractif du patron de coordination en anti-phase. Il en résulte ainsi une plus grande variabilité des patrons de coordination exécutés. De l'autre côté, les sujets recevant l'analogie réussissaient à réaliser des patrons de coordination plus stables.

Comme nous l'avons vu en introduction, l'instruction analogique favorise la création d'une image mentale. En effet, cette demande est explicite et place les sujets dans une situation plus favorable à l'apprentissage. Paivio (1985) proposait qu'une consigne imagée puisse induire une motivation supplémentaire. D'un point de vue théorique, la motivation et surtout les intentions du sujet sont des facteurs influençant le niveau de stabilité des patrons de coordination exécutés (Schöner & Kelso, 1988a). Les intentions permettent soit une transition de phase plus précoce dans le cas où celle-ci est recherchée soit de résister à une transition de phase (Lee et al., 1996), situation relativement courante dans la vie quotidienne ("je veux aller le plus vite possible dans la rue sans courir"). Dès lors, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'augmentation de la motivation des sujets recevant l'analogie doit permettre de stabiliser plus facilement un patron de coordination, même si ce dernier ne correspond pas exactement au patron de coordination requis. Cependant, notre méthodologie ne permet pas de débattre de cette problématique.

Enfin, donner une instruction analogique permet d'être "ouvert" (*aware*) à l'ensemble des retours d'information. En effet, une instruction analogique demande indirectement de

penser à propos de l'action exécutée (Feldenkrais, 1972; Singer, Lidor & Carraugh, 1993). Ainsi, il est possible que la plus grande stabilité des patrons de coordination soit due à des réajustements plus nombreux de la coordination. En liant cette hypothèse à la théorie de l'alignement mutuel (Kurtz et al., 2001), il semble qu'il se crée un couplage image-action entraînant une régulation directe plus importante que celle engendrée par l'ensemble des instructions descriptives. Il en découlerait une plus faible variabilité des patrons de coordination exécutés due à ce couplage fort entre coordination et image mentale. Cet effet couplé à l'observation de nombreux sujets de ce groupe ayant les yeux fermés nous incitent à penser que cette hypothèse est justifiable et sûrement la plus probable. Un couplage entre image et action doit permettre la régulation et le renforcement de l'image si la coordination émergente est relativement satisfaisante. Il est toutefois difficile de déterminer la puissance explicative de chacune des hypothèses que nous venons d'évoquer. Cependant, l'hypothèse d'un couplage fort entre l'image mentale et la coordination générée par l'instruction analogique nous semble judicieuse et pertinente de par le fait que ce couplage limite fortement les déviations de comportement grâce à une régulation "on-line" de la coordination. Il n'en découle pas un patron de coordination plus précis, mais plutôt un patron de coordination plus stable. Il convenait de prendre en compte l'ensemble des effets indirects dans l'utilisation d'une consigne analogique.

Nous venons ainsi de mettre en évidence que le fait de donner une instruction analogique spécifiant le mouvement relatif des oscillateurs permet la stabilisation plus précoce de patrons de coordination qu'un ensemble d'instructions définissant d'une part le mouvement relatif des oscillateurs et d'autre part leur position relative à chaque point de revirement. Contredisant les hypothèses émises par Newell et al. (1990) et en accord avec celles de Hodges et Lee (1999), il convient de ne pas donner trop d'informations à un sujet en début d'apprentissage. L'effet des instructions diminue au fur et à mesure de la pratique motrice. L'analogie permettait à nos sujets l'élaboration précoce d'une information comportementale mémorisée attractive. Néanmoins, la composante directionnelle (la phase relative mémorisée) n'était pas plus consistante d'un sujet à l'autre que celle du groupe recevant un maximum d'informations. Il conviendrait alors de construire une instruction analogique permettant une définition plus précise du décalage de phase requis. Ainsi, donner beaucoup d'informations entraîne une définition de même nature du patron de coordination à exécuter, voire meilleure mais sans effet statistique, mais ne permet pas d'activer une information comportementale puissante.

Une qualité de cette expérimentation était d'utiliser le même plan que celui de la première expérimentation. Il fut possible de comparer les effets de 5 ensembles d'instructions différents. Le groupe présentant les meilleurs résultats lors de la première expérimentation était le groupe recevant la décomposition de la tâche à réaliser. Il convient alors de comparer le groupe «décomposition» de la première expérimentation avec le groupe recevant l'instruction analogique.

Nous avons ainsi réalisé un nouveau plan statistique. Concernant l'erreur au patron requis, les résultats n'indiquent aucune différence significative entre les groupes «analogique» et «décomposition». Aussi, en prenant en compte l'erreur du groupe «exhaustif», aucune différence n'était décelable. Nous avons aussi appliqué ce traitement statistique à la variabilité des patrons de coordination exécutés. Les résultats ne mettent en évidence aucune différence statistique entre le groupe «analogique» et le groupe «décomposition». Cette absence d'effet était toutefois limite ( $p=0.053$  pour l'effet groupe). Ainsi, la variabilité intra-groupe pour le groupe FD (recevant la décomposition de la tâche à réaliser) n'a pas permis de mettre en évidence un réel avantage pour le groupe recevant l'instruction analogique.

Globalement, nous avons pu mettre en évidence des effets différenciés entre les différentes informations données. Le fait de donner des instructions analogiques permet d'évoquer une information comportementale mémorisée puissante. Le fait de spécifier de façon exhaustive ou de décomposer la position relative des oscillateurs mis en cause dans la coordination permet de spécifier le patron de coordination à exécuter. Ces effets précoces sont cependant rapidement inhibés par la pratique. La pratique tend à diminuer l'impact des instructions, les effets statistiques n'étant que des effets d'interaction groupe X jour. Or, l'analyse de la tâche et du plan expérimental que nous avons mis en place nous permet d'émettre l'hypothèse que l'adaptation de la coordination peut dépendre d'un troisième facteur, le retour d'information.

Les différentes expérimentations concernant les effets des informations avant pratique n'indiquaient qu'une faible contribution des instructions sur l'apprentissage moteur. Ainsi, nous n'étions initialement que peu convaincus de leur potentiel. Il nous semblait indispensable de donner une information en retour de la prestation motrice. Toutefois, nos différents résultats tendent à mettre en évidence l'influence des instructions sur l'apprentissage dans une tâche de coordination motrice. Les informations avant apprentissage peuvent permettre la création d'une référence de correction plus ou moins attractive. Dans notre expérience, cette

référence de correction devenait de plus en plus puissante. Néanmoins notre plan expérimental ne nous permet pas d'établir si ce renforcement était dû à la pratique ou au feedback donné ou même à une interaction entre ces deux facteurs. Cependant, nous avons pu mettre en évidence que l'information analogique a permis la création d'une référence de correction (qui renvoie à la puissance attractive de l'information comportementale) plus puissante que celle permise par les autres types d'instruction. La création ou le renforcement d'un couplage permanent entre l'image mentale générée par l'instruction analogique et la coordination induit un affinement de la coordination se révélant par une variabilité plus faible des patrons exhibés par les sujets du groupe analogique lors du premier jour de pratique. Si notre hypothèse est valide, alors supprimer le retour d'information de type Lissajous que nous avons prodigué lors des deux premières expérimentations doit permettre de plus grandes différences entre les groupes. La troisième et dernière expérimentation de ce mémoire va donc tester cette hypothèse en reprenant les instructions utilisées jusqu'à présent. N'ayant pas décelé de différence significative entre les groupes «analogique» et «décomposition», nous allons étudier les effets de ces deux instructions de niveaux différents de description lors de l'acquisition d'une habileté bimanuelle sans aucun retour d'information augmenté. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que les effets directs et indirects d'une instruction analogique vont favoriser davantage l'acquisition motrice qu'une instruction de faible niveau de description de la tâche.

# **Expérimentation 3: Effet d'une instruction analogique de haut niveau de description de la tâche à réaliser et d'une instruction descriptive sur l'apprentissage d'une habileté de coordination faiblement contraignante**

## **1. Introduction**

Lors de nos deux premières études, nous avons pu démontrer que des instructions pouvaient influencer en début d'apprentissage l'acquisition motrice par rapport à une situation d'apprentissage par découverte (le groupe ne recevant que la simulation). Cependant, l'effet des instructions n'était que temporaire, en début de pratique. Ensuite, la pratique associée à un feedback à retardement de type Lissajous permettait principalement de guider l'apprentissage moteur.

L'influence du retour d'information prodigué lors nos deux précédentes expériences ne peut pas être ignorée. Historiquement, le retour d'information a été un des moyens, mis à la disposition des enseignants pour influencer l'apprentissage, les plus étudiés dans les recherches sur l'acquisition motrice (Swinnen, 1996; Schmidt, 1993). Il permet généralement de répondre à deux principales questions: le mouvement exécuté est-il correct? L'objectif est-il atteint? (Gentile, 1972). Le feedback est placé au centre des théories cognitivistes qui le rendent même indispensable à l'apprentissage (Schmidt, 1993). Une des propriétés fondamentales du retour d'information est de permettre le renforcement de la trace perceptive si le feedback est positif (Adams, 1971). Par contre, lorsqu'il est négatif, la trace perceptive n'est pas consolidée, une activité nouvelle de la part de l'apprenant commence alors, à la recherche de la trace perceptive correcte, efficiente et efficace. Toutefois, des travaux récents ont étudié l'effet du feedback sur l'apprentissage de tâches de coordination complexes (Vereijken, 1991; Nourrit et al., 1999; Ruiz, 1999), mais leurs résultats ne furent pas ceux escomptés.

Le retour d'information permet d'évaluer la justesse de la coordination employée ou l'écart à la cible guidant dans la recherche de la solution motrice. Un feedback mettant en évidence une mauvaise coordination ou une faible efficacité du mode de coordination exhibé va entraîner une nouvelle activité de recherche de la solution motrice requise, ou tout du moins une plus efficiente. Supprimer tout retour d'information devrait permettre une plus

grande disparité des coordinations motrices de par la suppression d'un mode de guidage dans l'espace perceptivo-moteur. La dynamique des coordinations n'étant plus dirigée dans cet espace de travail, l'influence des instructions en sera d'autant plus importante, la référence de correction étant alors la seule aide à l'apprentissage. De plus, il est intéressant de noter que dans une situation écologique d'enseignement, il est difficile pour un enseignant de prodiguer un feedback individualisé à l'ensemble des apprenants. Les situations d'apprentissage sont telles que les élèves sont largement confrontés à eux-mêmes n'ayant pour seule référence que celle évoquée par les instructions globales et générales données par l'enseignant en début de séance ou d'exercice.

Des théories cognitivistes (Adams, 1971; Schmidt, 1975) sont nées plusieurs taxonomies des feedbacks. L'une d'entre elles définit le retour d'information en 2 classes: intrinsèque et extrinsèque. Le retour d'information intrinsèque représente "l'information fournie par conséquence naturelle de la réalisation d'une action" (Schmidt, 1993, p. 255). Le feedback intrinsèque regroupe l'ensemble des informations que le sujet reçoit de lui-même (informations visuelles, sonores, kinesthésiques, olfactives, gustatives). On lui oppose le retour d'information extrinsèque aussi appelé feedback augmenté. Ce dernier se définit comme l'ensemble des informations qu'un sujet reçoit artificiellement en retour d'une prestation (un enseignant, une vidéo...). Fondamentalement, ce type de feedback vient en supplément du feedback intrinsèque. Il peut être redondant avec le retour d'information intrinsèque. Cependant, il est un moyen très puissant pour venir en complément au feedback inhérent, notamment lorsque le but de la tâche a été mal défini.

Une classification du feedback augmenté met en avant le fait que ce dernier s'intéresse à la coordination engagée par le sujet ou à son résultat, son écart à la cible requise. Cette classification met en opposition les feedbacks de type connaissance du résultat aux feedbacks de type connaissance de la performance (Schmidt, 1993). Le retour d'information de type connaissance du résultat rend compte de l'écart existant entre le résultat attendu et le résultat de la performance effectué, c'est une note, un chronométrage. C'est surtout ce type de feedback qui peut être redondant avec le feedback intrinsèque pour peu que le but de la tâche soit clairement identifié et identifiable (ex: "ai-je réussi mon panier de basket?"). La connaissance de la performance met plutôt l'accent sur la coordination engagée, c'est une information descriptive des moyens mis en œuvre par le pratiquant. Dans notre cas, le retour d'information que nous avons prodigué était relativement ambigu par rapport à cette dernière

classification. En effet, la tâche imposée était relativement spécifique dans le sens où la coordination elle-même définit la performance (la cible est la coordination elle-même). Le retour d'information des deux premières études de ce manuscrit, la figure de Lissajous, mettait en avant autant le caractère qualitatif de la coordination ("ma coordination est-elle correcte? Est-elle biaisée en phase ou en anti-phase") que son résultat ("ma performance est-elle bonne? Suis-je loin du résultat requis?"). Ainsi, l'efficacité du feedback de type Lissajous en était d'autant plus importante.

Lors de nos deux précédentes études, nous avons prodigué un retour d'information à une fréquence constante de 33%. Cette fréquence d'apparition du retour d'information est un paramètre fondamental. Cette question a beaucoup importé à la communauté des scientifiques s'intéressant à l'apprentissage moteur (Swinnen, 1996). Faut-il donner un maximum de retour d'information, faut-il donner des feedbacks résumés sur un ensemble d'essai ou un feedback spécifique à un essai? Les connaissances actuelles permettent de bien trancher cette idée. Il est maintenant bien établi que la fréquence du feedback influence l'apprentissage. Donner un maximum de retour d'information (une fréquence d'occurrence de 100% par exemple) peut induire une très bonne performance lors des phases d'apprentissage mais aussi créer un phénomène de dépendance (Swinnen, Walter, Lee & Serrien, 1993). Dès la suppression du retour d'information on observe généralement une baisse de la performance (Swinnen, 1996). Différentes techniques de production de feedbacks ont vu le jour dans le but d'éviter ces phénomènes de dépendance. Il est possible de ne donner des feedbacks qu'occasionnellement diminuant ainsi cette dépendance. C'est ce qui a été réalisé au cours des deux expériences précédentes présentées dans ce manuscrit. Lors de ces deux études, un retour d'information était donné tous les 5 essais lors des phases d'apprentissage. Les résultats des tests de rétention effectués sans aucun retour d'information indiquent que les sujets n'étaient aucunement dépendants du retour d'information.

La fréquence d'apparition du feedback peut être un facteur à manipuler pour favoriser l'apprentissage moteur. Dans ce cas, il convient de mesurer la fréquence relative d'occurrence de ce dernier. Plus la fréquence d'occurrence du feedback est importante, plus le sujet sera performant lors des phases d'apprentissage mais aussi en sera dépendant. Pour éviter les effets de dépendance (voir Swinnen, 1996 pour une revue), il convient de donner un maximum de retour d'information en début d'apprentissage puis de diminuer sa fréquence d'apparition.

Ainsi, il est retrouvé de bonnes performances durant les phases d'apprentissage mais aussi durant les phases de rétention pendant lesquelles le feedback est supprimé.

Toujours dans le but de diminuer les effets de dépendance au feedback, le retour d'information donné en fin d'essai peut mettre en évidence la performance sur un ensemble d'essai, dans ce cas, il convient de parler de feedback résumé. Son but est d'éviter les phénomènes de dépendance du retour d'information en ne focalisant pas le sujet sur sa dernière prestation spécifiquement. En général, les résultats des études mettant en opposition une situation d'apprentissage avec retour d'information après chaque essai à une situation avec retour d'information résumé indiquent une meilleure performance des sujets recevant constamment le feedback durant les phases d'apprentissage. Par contre, lors de tests de rétention sans retour d'information la performance de ces derniers semble être détériorée.

Enfin, le feedback peut être manipulé en terme de moment d'apparition. Il peut être donné immédiatement après la pratique, après un certain délai mais aussi pendant la pratique. Prenons l'exemple de nos deux précédentes études et de différentes études retrouvées dans la littérature concernant l'utilisation de la figure de Lissajous (Fontaine et al., 1997; Swinnen et al., 1997; Hodges & Franks, 2001). Ce feedback possède une qualité exceptionnelle, celle de définir le mouvement relatif des oscillateurs. Toutefois, à la différence des expérimentations d'équipes différentes de la nôtre, les sujets ne recevaient le feedback qu'en fin de pratique. La différence est fondamentale, dans le sens où le feedback ne faisait pas partie intégrante des différentes contraintes régissant la dynamique de coordination des sujets. Comme le souligne Swinnen (1996), le retour d'information concourant permet une régulation *on-line* à partir de l'établissement d'un lien direct entre la perception et l'action. Mais ce lien direct disparaît à partir du moment où il réside une latence entre l'action et le retour de l'action. A long terme il devient difficile de ne pas concevoir le rôle du feedback et la sous-estimation que nous avons eue de son effet. Comme cela a déjà été souligné dans ce manuscrit, les résultats récents en défaveur des instructions ne laissent pas supposer que de piètres ambitions à leur égard.

Le feedback représente une aide à l'apprentissage importante, il permet de guider l'apprenant dans sa recherche de la meilleure solution motrice, mais aussi de renforcer une action motrice si celle-ci est indiquée comme satisfaisante. Cependant, le retour d'information peut aussi se révéler un mauvais allié. En effet, comme nous venons de le voir, il peut créer une dépendance du sujet en cas d'utilisation trop fréquente. Dès lors, dès la suppression du

feedback on observe une baisse dramatique de la performance. Pour éviter ce problème différentes techniques ont été mises en place et étudiées. Cependant, une question reste alors fondamentale: Peut-on apprendre sans feedback?

Scully & Newell (1985) ou Swinnen (1996) ont tenté de répondre à cette question. Dans notre vie quotidienne, il nous arrive constamment de résoudre des tâches sans avoir aucun retour d'information externe (Annett, 1969). Comment cela est-il possible? Il existe des moyens autres que les retours d'information pour informer le sujet sur ce qu'il doit faire. Toutes les informations que l'on peut donner avant la pratique doivent aller dans ce sens. Le but essentiel de ces informations est de créer une référence de correction (Hodges & Franks, 2001) à partir de laquelle la coordination doit être confrontée. Un sujet recevant des informations avant pratique (verbales et visuelles) suffisamment efficaces pour définir une puissante et attractive référence de correction (dynamiquement nous parlerons de patron mémorisé) pourra résoudre la tâche sans autre forme d'aide. Cette idée ne remet aucunement en cause l'efficacité des retours d'informations qui n'est plus à démontrer mais plutôt tend à montrer que le retour d'information n'est pas indispensable pour permettre l'apprentissage moteur. Pour aller plus loin, le fait de ne donner aucun retour d'information permet de confronter différentes informations avant pratique dans leur habilité à permettre la création d'une référence de correction efficace. Cette spécificité va nous permettre de mettre en évidence les qualités des deux instructions les plus efficaces que nous avons manipulées jusqu'à présent. Notamment, cette dernière étude va pouvoir répondre à la question: Une instruction de type analogique permet-elle de créer une référence de correction plus puissante et attractive qu'un ensemble d'instructions descriptives. Cependant, au vu des différents résultats de la littérature concernant l'efficacité du feedback, nous nous attendons à retrouver un apprentissage moins rapide que celui relevé durant les deux précédentes études que nous avons menées. En effet, la fréquence d'occurrence des feedbacks que nous avons prodigué n'a globalement pas entraîné de baisse de la performance durant les phases de rétention, mettant en évidence la non dépendance des sujets à cette aide.

Tout comme les études précédentes que nous avons réalisées, les sujets devaient dans cette troisième expérimentation apprendre à coordonner les oscillations des deux mains de manière à exécuter une coordination avec un décalage de phase de  $270^\circ$ . Les sujets recevaient deux types d'informations (analogie vs description) décrivant la tâche à réaliser à des niveaux différents (position vs mouvement). Nous avons comparé des sujets recevant une instruction

analogique définissant le mouvement relatif des oscillateurs à des sujets recevant une instruction descriptive décomposant la position relative des oscillateurs excluant ainsi la structuration temporelle de la coordination. En d'autres mots, nous avons comparé les effets d'une instruction analogique de haut niveau de description de la tâche à une instruction descriptive de plus faible niveau. L'instruction analogique facilitant le pont langage-action, nous avons émis l'hypothèse que cette dernière devrait permettre l'évocation plus précoce d'une information comportementale. De plus, l'utilisation peu collective de l'instruction descriptive que nous avons mise en évidence lors de l'expérimentation 1 devrait entraîner une plus grande variabilité inter-individuelle pour le groupe recevant cette instruction. Excluant le retour d'information, nous nous attendions à retrouver un effet plus prononcé des instructions par rapport à nos expérimentations antérieures. L'instruction analogique devait permettre d'activer une information comportementale plus puissante que celle générée par la description de la tâche à réaliser. De plus, les sujets étant plus ouverts à leurs propres réafférences grâce à l'analogie ils devaient connaître une plus grande efficacité dans les stratégies de recherche de la solution motrice. Cet effet indirect devait se répercuter sur la variabilité des patrons de coordination exécutés. Notre analogie ne spécifiant que peu précisément le décalage de phase ciblé, l'erreur au patron requis pouvait être plus grande que celle exhibée par les sujets recevant l'instruction de faible niveau de description. Cet effet ne se répercutera cependant que si la majorité des sujets de ce dernier groupe utilise l'information descriptive. Comme lors de nos études précédentes, nous évoquions le fait que les modes de coordination exhibés soient biaisés majoritairement vers l'anti-phase et ce, quel que soit le groupe. La simulation seule entraînerait un tel biais.

Enfin, cette étude se différenciait des deux précédentes par une adaptation de la tâche d'exploration de la dynamique intrinsèque. En effet, la tâche que nous avons réalisée jusqu'à présent prenait en compte une étude de la stabilité et de la précision des patrons de coordination de  $180^\circ$  à  $360^\circ$ . Ici cette exploration s'est étendue de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ . Le but de cette nouvelle tâche était de mettre en évidence le degré d'adaptabilité des informations comportementales mémorisées. Lors d'études réalisées concernant l'efficacité des retours d'information (Swinnen, 1996) et de la variabilité de la pratique, les adaptations durant la pratique sont analysées tout autant que les performances des sujets lors de tâche de transfert et de rétention. Il doit en être de même pour l'étude de l'efficacité des instructions. Une information avant pratique se doit d'être une aide à l'apprentissage mais aussi d'être "malléable", adaptable pour le sujet dans de nouvelles situations. Dans ce sens, lors de

l'exécution d'une tâche de transfert, les modes de coordination exhibés devraient être plus précis et consistants lorsqu'un apprenant reçoit une instruction présentant un haut niveau d'adaptabilité permettant l'émergence d'une information comportementale mémorisée adaptable. Le groupe "décomposition" recevait une description verbale et visuelle d'un mode de coordination avec 270° de décalage de phase. Cette décomposition était définie par 5 étapes, 5 arrêts sur image de la coordination (voir figure 5). Dès lors, le degré d'adaptabilité par l'apprenant de l'instruction pour exécuter un mode de coordination à 90° était faible car demandant une transformation de chacune des 5 étapes décrites. L'instruction analogique que nous avons prodiguée aux sujets du groupe du même nom présentait quant à elle une "malléabilité" plus importante parce que demandant l'adaptation d'un seul paramètre de l'instruction: le sens du vent dans la consigne. En effet, pour réaliser une tâche de coordination à 270° de décalage de phase la consigne était : *"Imaginez une rafale de vent qui fait se coucher les arbres. Elle se propage dans la pièce de votre gauche vers votre droite. Les manettes représentent des arbres qui se couchent l'un après l'autre à chaque rafale de vent. Enfin, imaginez qu'à peine couchés, les arbres reprennent leur position initiale. Chaque bip sonore correspond à une rafale de vent"*. Dans ce sens, l'adaptation de la consigne portait dans le sens de déplacement de la rafale de vent. L'adaptation de la consigne pour réaliser une tâche de coordination bimanuelle à 90° de décalage de phase portait alors sur la partie soulignée de la consigne suivant: *"Imaginez une rafale de vent qui fait se coucher les arbres. Elle se propage dans la pièce de votre droite vers votre gauche. Les manettes représentent des arbres qui se couchent l'un après l'autre à chaque rafale de vent. Enfin, imaginez qu'à peine couchés, les arbres reprennent leur position initiale. Chaque bip sonore correspond à une rafale de vent"*. Nous pouvons émettre l'hypothèse que la consigne analogique va pouvoir être adaptée plus facilement que l'instruction descriptive lors de l'exécution d'une exploration de la dynamique intrinsèque de 0° à 180°. Ainsi, nous nous attendions à observer des patrons de coordination plus stables lorsque les métronomes spécifiaient un patron de coordination à 90° lors des explorations réalisées immédiatement après les phases d'apprentissage et lors de la rétention à long terme.

## **2. Méthode**

14 sujets (5 femmes et 9 hommes, âge moyen: 27.43 ans +/- 3.15) ont pris part à cette expérimentation. Tous étaient volontaires et naïfs concernant le propos de l'expérimentation et

ont participé gratuitement. Au début de l'étude, les sujets étaient placés de façon aléatoire dans l'un des deux groupes expérimentaux.

## 2.1. Description générale de la tâche de coordination bimanuelle et du matériel

Nous avons utilisé le même matériel que pour les études précédentes. Toutefois, lors de cette expérimentation les sujets étaient assis sur une chaise réglable en hauteur. Cette distinction est venue d'un changement de lieu d'étude. La hauteur des sièges était ajustée au début de chaque session d'apprentissage de manière à avoir les avant bras horizontaux lorsque les sujets tenaient les manettes. L'ensemble du dispositif de recueil des données était le même que précédemment.

Les sujets devaient réaliser 2 sessions réparties sur deux jours consécutifs ainsi qu'une session de rétention 8 à 10 jours après la deuxième session (voir tableau 3).

Session 1	Familiarisation à la tâche Phase et anti-phase	Exploration de la dynamique intrinsèque ( $180^{\circ} \rightarrow 360/0^{\circ} \rightarrow 180^{\circ}$ )	Acquisition motrice (4 blocs de 7 essais)
Session 2	Acquisition motrice (4 blocs de 7 essais)	Exploration de la dynamique intrinsèque ( $180^{\circ} \rightarrow 360/0^{\circ} \rightarrow 180^{\circ}$ )	Rétention: 3 essais sans retour d'information
Session de rétention	Exploration de la dynamique intrinsèque ( $0^{\circ} \rightarrow 180^{\circ}$ )	Rétention: 3 essais sans retour d'information	

*Tableau 3: Tableau récapitulatif des sessions expérimentales.*

Nous avons mis en place un protocole expérimental incluant seulement 2 sessions de pratique pour une principale raison. Ce choix se justifiait par le fait que nous connaissions maintenant mieux la cinétique d'apprentissage. Il semblait envisageable de ne réaliser que deux sessions d'apprentissage. Les différents effets statistiques que nous avons retrouvés lors des deux premières expérimentations démontraient que la majeure partie des adaptations avait lieu lors des deux premières sessions, l'effet du feedback et de la pratique inhibant à priori

celui des instructions. Nous avons cependant augmenté la durée des essais (de 15 s à 30 s) de manière à éviter une différence trop importante en terme de temps d'apprentissage.

*-1<sup>ère</sup> session:* Au début de chaque session d'apprentissage, les sujets recevaient des instructions écrites concernant les contraintes globales liées à l'exécution de la tâche (réaliser des oscillations régulières, le mouvement des manettes doit s'effectuer à 45° de part et d'autre de la verticale...). Lors de ce premier jour de pratique, les sujets devaient tout d'abord réaliser une tâche de familiarisation conforme à celle des autres expérimentations. Ensuite, nous procédions à une exploration de la dynamique intrinsèque. Cette dernière était différente de celle de nos expérimentations précédentes.

Nous avons réalisé une exploration complète de la dynamique intrinsèque de chaque individu (0° à 360°). Cette exploration s'est effectuée chronologiquement en deux étapes distinctes de 180° à 360° et de 0° à 180°. Pour réaliser cette exploration, les sujets devaient synchroniser l'inclinaison des manettes à l'intérieur suivant deux bips auditifs. Un bip à la tonalité grave cadencait les oscillations périodiques de la manette de gauche et un bip aigu celles de la manette de droite. A noter que lors de la phase de familiarisation les sujets étaient habitués à l'exécution de la tâche de coordination à 180° avec les deux bips. Cette tâche de familiarisation ne prenait fin que lorsque les sujets attribuaient de façon consistante et précise les mouvements de chaque manette avec le bip respectif. L'exploration de la dynamique intrinsèque s'effectuait à une fréquence d'oscillation de 1 Hz et par pas de 20 s, avec changement du décalage de phase entre les deux bips de 30°. Ainsi, chaque exploration définissait 7 plateaux différents, la tâche durant 140 s (2 min et 20 s). Nous avons étudié la dynamique intrinsèque en deux étapes. Lors d'une pré-expérimentation, il nous a semblé que l'exécution complète de la tâche (0°→360°) pouvait entraîner un phénomène de fatigue de par le niveau d'attention demandé. Une faiblesse de l'exploration mise en place lors de nos deux premières expériences résidait dans le fait que la méthodologie employée ne prenait pas en compte l'effet d'ordre de la pratique des différents décalages de phase à exécuter. Cet effet d'ordre permet toutefois d'attester du pouvoir attractif de chaque patron de coordination. Plus une coordination est acquise, attractive et plus la bifurcation vers ce mode de coordination doit être précoce et persistante.

Nous avons réalisé une exploration totale de 0° à 360°. Ainsi, nous pouvions mettre en évidence les effets de l'apprentissage pour une tâche de transfert dans laquelle les sujets auraient à exécuter une tâche de coordination à 90°, soit la coordination symétrique à celle qui

sera apprise ultérieurement (la différence entre les patrons de coordination à 90° et à 270° résidant dans la main dominante guidant la coordination).

L'exploration de la dynamique intrinsèque nous a permis de mettre en évidence les potentialités de chaque sujet. Tout sujet caractérisé par une dynamique de coordination autre que bi-stable ne participait pas à l'étude. Il est à noter que nous avons exclu un sujet caractérisé par une dynamique relativement stable quel que soit le mode de coordination envisagé. Durant toutes nos expérimentations concernant la tâche de coordination bimanuelle nous avons exclu 6 sujets sur un total initial de 56 sujets. Ce résultat met en avant la nécessité de juger les potentialités de chaque sujet a priori.

Une fois l'exploration de la dynamique intrinsèque effectuée, les participants ont réalisé 4 blocs de 7 essais consécutifs de 30 s chacun avec 15 s de repos entre chaque essai. Le but de la tâche était de réaliser une coordination bimanuelle avec un décalage de phase de 270° à une fréquence d'oscillation de 0.9 Hz tout en synchronisant l'unique bip sonore spécifiant la fréquence d'oscillation avec une inclinaison de la manette de gauche à l'intérieur. Le temps de pratique total journalier correspondait ainsi à 840 s (14 minutes). A titre indicatif le temps d'apprentissage journalier lors des deux premières expérimentations était de 675 s (soit 11 minutes et 15 secondes). Durant la phase de repos inter-essai les sujets ne recevaient aucune information susceptible de les guider dans la recherche de la solution motrice. Entre chaque bloc de pratique les sujets recevaient les informations propres à chaque groupe.

*-2<sup>ème</sup> session:* Lors du deuxième jour de pratique, les sujets devaient tout d'abord réaliser une session d'apprentissage identique à celle donnée lors de la première session. Ainsi, ils ont dû réaliser 4 blocs de 7 essais. Tout comme lors de la première session, aucun retour d'information extrinsèque n'était donné. La session d'apprentissage était suivie d'une exploration globale de la dynamique intrinsèque identique à celle de la première session. Enfin, les sujets devaient réaliser 3 essais de rétention immédiate de 30 s chacun avec 15 s de repos entre deux essais. Avant de réaliser cette phase de rétention, les sujets ne recevaient pas les instructions spécifiques à l'apprentissage.

*-Session de rétention à long terme:* Au bout de 8 à 10 jours de repos, les sujets étaient convoqués pour une session de rétention. Cette session commençait par une exploration de la dynamique intrinsèque suivie de l'exécution de 3 essais de rétention définis par les mêmes contraintes que celles des essais d'apprentissage.

## 2.2. Les instructions

Les instructions données au début de chaque session d'apprentissage et entre chaque bloc étaient similaires à celles des expérimentations antérieures et partiellement spécifiques à chaque groupe. Ces instructions se définissaient en 2 parties distinctes: une partie commune à tous les sujets et une partie spécifique à chaque groupe. Tout d'abord, tous les sujets recevaient une simulation de la tâche à réaliser. Durant la démonstration les sujets n'étaient pas contraints et leur activité motrice n'était pas limitée exceptée par le fait qu'ils ne pouvaient tenir les manettes. Ensuite, chacun des groupes recevait ses instructions spécifiques. Le groupe «décomposition» recevait, comme dans l'expérimentation 1, une décomposition visuelle et verbale de la tâche à réaliser. Cette décomposition spécifiait la position relative des manettes à chaque point de revirement. Le groupe «analogique» recevait quant à lui l'instruction analogique accompagnée d'une explication visuelle de l'instruction identique à l'expérimentation 2.

## 2.3. Analyse des données et variables dépendantes

L'étude des coordinations motrices et de leurs adaptations s'est effectuée grâce à la prise en compte et l'analyse de l'ensemble de la pratique motrice. Le traitement des séries temporelles enregistrées suivait les mêmes spécificités que les précédentes expérimentations hormis le fait que cette analyse portait sur 30 s d'enregistrement.

Nous avons ainsi pu déterminer la phase relative moyenne, l'erreur au patron requis, la variabilité des patrons de coordination exécutés pour les essais d'apprentissage et de rétention ainsi que les consistances collectives de précision et d'attraction des informations comportementales pour la phase d'apprentissage. Concernant l'analyse de l'exploration de la dynamique intrinsèque, nous avons réalisé un calcul de l'erreur au patron requis et de la variabilité des patrons de coordination exécutés lors des 15 dernières secondes de chaque plateau. Nous avons ainsi déterminé 7 valeurs pour chaque variable dépendante.

Nous avons ensuite soumis les valeurs de chaque variable relative à la phase d'apprentissage à une ANOVA 2 (groupe) X 2 (session) X 4 (bloc) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs en prenant en compte la moyenne de chaque bloc. Le seuil de

significativité était fixé à  $p < 0.05$ . Les tests statistiques post-hoc de Scheffé étaient utilisés pour localiser les effets.

Nous avons réalisé un test supplémentaire mettant en évidence les effets à long et à court termes de l'apprentissage. Pour cela nous avons effectué une ANOVA 2 (groupe) X 3 (session) X 3 (essai). Cette analyse prenait en compte les 3 derniers essais de pratique et les 3 essais de rétention de la deuxième session ainsi que les trois essais de la session de rétention.

Un traitement statistique a été mis en place prenant en compte l'exploration de la dynamique intrinsèque des deux sessions d'apprentissage et celle de la session de rétention. Deux traitements distincts ont été élaborés. Le premier prenait en compte l'exploration de la dynamique de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  et le deuxième de  $180^\circ$  à  $360^\circ$ . Les deux tests étaient analogues et utilisaient une ANOVA 2 (groupe) X 3 (session) X 7 (coordination) avec mesures répétées sur les deux derniers facteurs.

Enfin, nous avons réalisé un entretien à la fin de chacune des deux sessions d'apprentissage. Lors de cet entretien nous avons demandé aux sujets sur quelles informations ils s'appuyaient pour réaliser la coordination. Il leur était aussi demandé s'ils utilisaient des aides autres que celles que nous leur avons données.

### **3. Résultats**

#### 3.1. Apprentissage

##### 3.1.1. Décalage de phase moyen des patrons exécutés

Les résultats concernant le décalage de phase moyen des patrons de coordination n'indiquent aucune évolution de cette variable dépendante durant l'ensemble de l'expérimentation (figure 23).

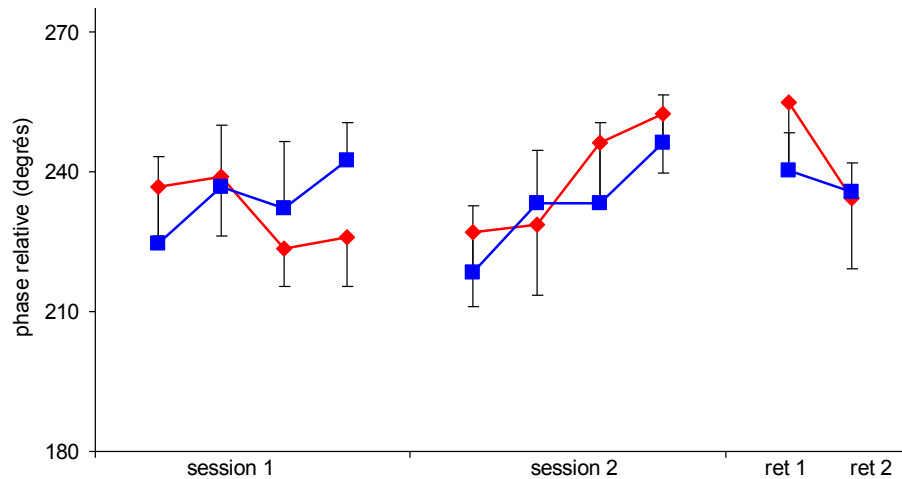


Figure 23: Evolution de la phase relative moyenne lors de l'apprentissage d'une tâche de coordination bimanuelle à 270°. Les carrés bleus représentent la phase relative moyenne pour le groupe recevant une consigne analogique et les losanges rouges décrivent le décalage de phase moyen pour le groupe «décomposition». Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne.

Aucun effet statistique n'a été noté ( $p > 0.05$  quel que soit le test pris en compte). La phase relative évoluait ainsi de manière désordonnée, et il existait une grande diversité de patrons de coordination moyens. Les modes de coordination moyens restaient consistants à travers le temps comme en témoigne l'absence d'effet lors du test prenant en compte les essais de rétention immédiate et de rétention à long terme. Il n'y a aucun effet significatif mettant en évidence la supériorité d'une instruction, au moins concernant le décalage de phase moyen des patrons exécutés.

### 3.1.2. Erreur absolue au patron requis

Contrairement au patron de coordination moyen, l'erreur à la cible diminuait à travers le temps (figure 24). Un effet significatif du facteur bloc a été obtenu ( $F(3,36)=12.83$ ,  $p < 0.01$ ). Cet effet était dû à une différence significative entre le premier bloc de pratique et les deux derniers et entre le deuxième bloc et le dernier (bloc1/bloc3:  $p < 0.05$  avec  $m_{\text{bloc1}}=60.04^\circ$  et  $m_{\text{bloc3}}=47.80^\circ$ ; bloc1/bloc4:  $p < 0.01$  avec  $m_{\text{bloc4}}=37.69^\circ$  et bloc2/bloc4:  $p < 0.01$  avec  $m_{\text{bloc2}}=49.84^\circ$ ). Au cours d'une session d'apprentissage, les sujets étaient capables de se rapprocher du patron de coordination requis. Toutefois, cette précision acquise ne se révélait pas à long terme, l'effet du facteur jour n'étant pas significatif. Aussi, les patrons de coordination exécutés étaient aussi précis en fin d'apprentissage que lors de la session de rétention immédiate et même lors de la session de rétention à long terme 8 jours après la fin de l'apprentissage ( $p > 0.05$ ).

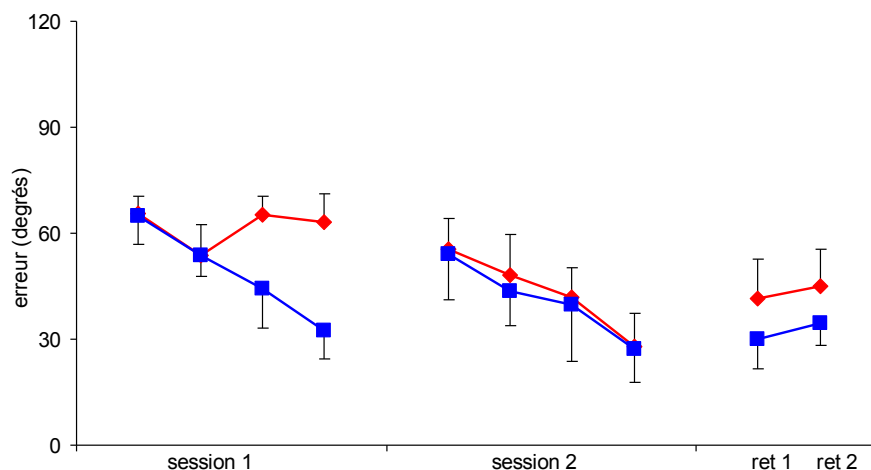


Figure 24: Evolution de l'erreur absolue au patron requis lors de l'apprentissage d'une tâche de coordination bimanuelle à 270°. Les carrés bleus représentent la phase relative moyenne pour le groupe «analogique» et les losanges rouges décrivent l'erreur moyenne au patron requis pour le groupe «décomposition». Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne.

Enfin, aucun effet du facteur groupe n'a été obtenu, malgré les différences suggérées par le graphique de la figure 24 lors de la session 1.

### 3.1.3. Variabilité des patrons de coordination exécutés

Comme lors des expérimentations précédentes, l'effet des instructions se présentait essentiellement au travers de cette variable dépendante. Tout d'abord, nous avons noté une légère baisse de la variabilité des patrons de coordination exécutés comme en témoigne l'effet significatif du facteur session ( $F(1,12)=5.47$ ,  $p<0.05$  avec  $m_{\text{session1}}=42.28^\circ$  et  $m_{\text{session2}}=35.76^\circ$ ). Ensuite, les patrons de coordination, en dépit d'une baisse de l'écart-type, étaient stables tout au long d'une session d'apprentissage (effet bloc:  $p>0.05$ ). Les résultats visuellement éloquentes de la figure 25 concernant l'effet groupe se traduisent aussi par un effet statistique ( $F(1,12)=5.94$ ,  $p<0.05$  avec  $m_{\text{décomposition}}=47.95^\circ$  et  $m_{\text{analogie}}=30.09^\circ$ ). Ainsi, le groupe recevant l'instruction analogique exécutait des patrons moteurs plus stables que le groupe «décomposition». Cet effet de l'instruction perdurait à long terme. Nous avons remarqué un effet supplémentaire du facteur groupe lors du test prenant en compte les essais de rétention ( $F(1,12)=6.37$ ,  $p<0.05$ ). Nous avons aussi noté un effet d'interaction triple groupe X session X bloc ( $F(4,48)=2.66$ ,  $p<0.05$ ). Cet effet serait dû à la stabilité fragile des patrons du groupe recevant l'instruction de faible niveau de description alors que le groupe «analogique» présentait une variabilité des patrons de coordination exécutés relativement faible.

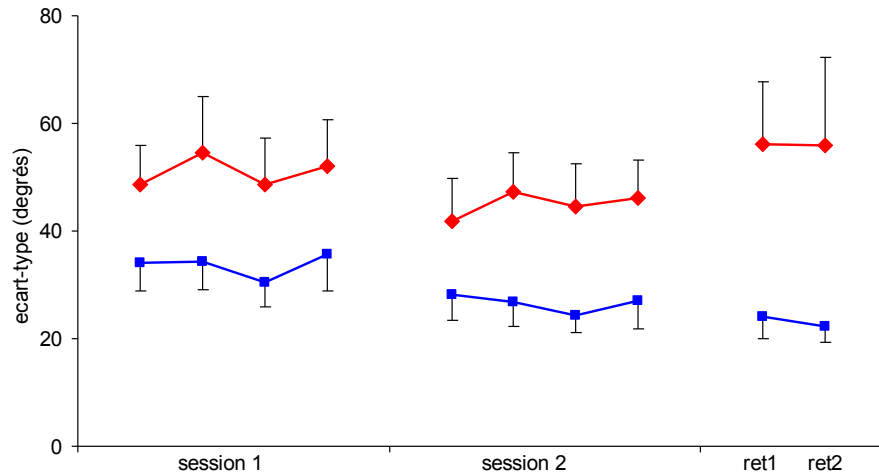


Figure 25: Evolution de la variabilité des patrons de coordination exécutés lors de l'apprentissage d'une tâche de coordination bimanuelle à 270°. Les carrés bleus représentent la variabilité moyenne pour le groupe «analogique» et les losanges rouges décrivent l'écart-type moyen pour le groupe «décomposition». Les barres d'erreur représentent l'erreur standard à la moyenne.

### 3.1.4. Consistance collective de précision

La consistance collective de précision poursuit une évolution plutôt désordonnée (voir figure 26). En effet l'unique effet que nous avons observé est un effet d'interaction triple groupe X jour X bloc ( $F(4,48)=2.60, p<0.05$ ). Cet effet est dû à une évolution instable du carré des écarts à la moyenne pour le groupe recevant la consigne analogique.

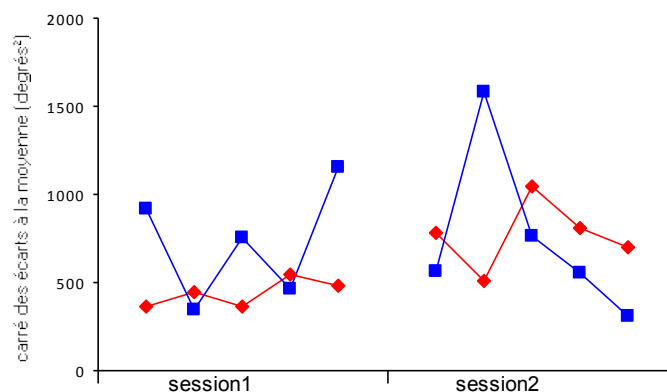


Figure 26: Evolution de la consistance collective de précision au cours de la pratique (carrés bleus: groupe «analogique», losanges rouges: groupe «décomposition»).

### 3.1.5. Consistance collective d'attraction

La consistance collective d'attraction ne suit pas l'évolution que nous pensions. Le carré des écarts à la moyenne n'évolue pas tout au long de l'expérimentation. Nous n'avons relevé aucun effet significatif. Cependant, la figure 27 nous montre une plus grande diversité du pouvoir attractif des informations comportementales mémorisées pour le groupe recevant la décomposition de la tâche mais ce constat visuel n'est pas confirmé par un effet statistique.

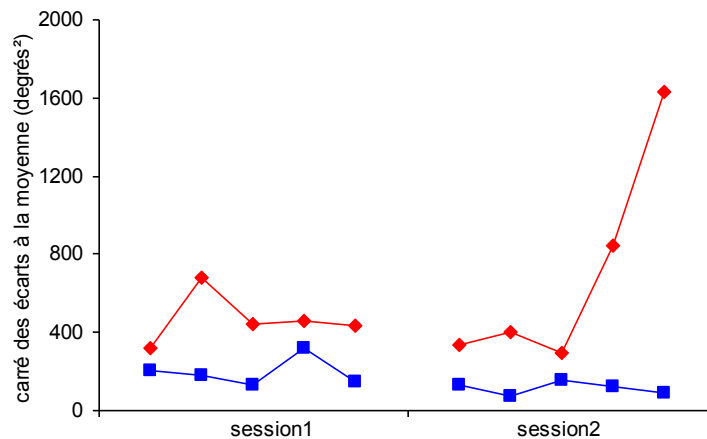


Figure 27: Evolution de la consistance collective attractive au cours de la pratique (carrés bleus: groupe «analogique», losanges rouges: groupe «décomposition»).

### 3.2. Dynamique intrinsèque

#### 3.2.1. Erreur au patron requis

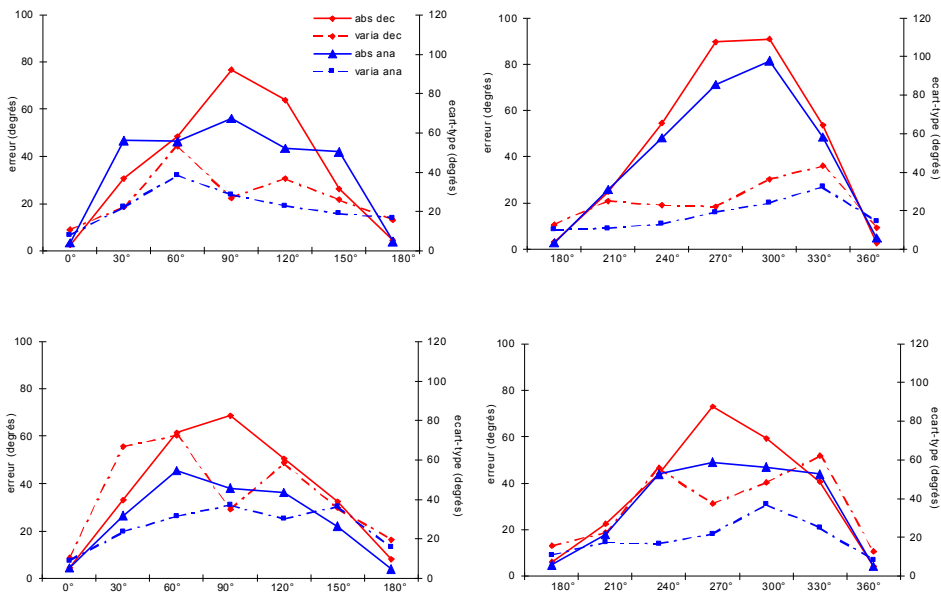
L'étude de la dynamique intrinsèque va s'effectuer en deux étapes. La première prendra en compte l'exploration de 180° à 360°. Puis nous porterons notre attention sur l'exploration de 0° à 180° évaluant les effets de transfert de la coordination apprise.

L'étude de l'erreur au patron requis lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque au cours de l'apprentissage d'un patron de coordination bimanuelle a permis de mettre en évidence une restructuration des potentialités des sujets (voir figure 28). En effet nous avons noté une baisse statistique de l'erreur entre la première et la deuxième session ( $F(2,24)=6.98$ ,  $p<0.01$ ). Cette baisse de l'erreur était due à la tâche d'apprentissage et perdurait à long terme. En effet, les tests post-hoc ont révélé une baisse de l'erreur significative entre les deux premières sessions ( $p<0.05$  avec  $m_{\text{session1}}=47.05^\circ$  et  $m_{\text{session2}}=35.87^\circ$ ) et entre la première session et la session de rétention à long terme ( $p<0.05$  avec  $m_{\text{session rétention}}=36.30^\circ$ ).

Nous avons observé un effet du facteur coordination ( $F(6,72)=53.07$ ,  $p<0.01$ ). Les patrons de coordination en phase et en anti-phase ont été statistiquement exécutés aussi précisément l'un que l'autre mais également autant que le patron à  $210^\circ$  ( $p>0.05$  avec  $m_{180^\circ}=4.41^\circ$ ,  $m_{210^\circ}=24.16^\circ$  et  $m_{360^\circ}=5.92^\circ$ ). Aussi, les patrons de coordination à  $270^\circ$  et  $300^\circ$  étaient les moins précis (ces deux patrons de coordination étaient différents des autres sauf entre eux). Aucun effet incluant le facteur groupe n'a été décelé.

Concernant l'exploration de la dynamique intrinsèque de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ , nous n'avons remarqué qu'un seul effet. Ce dernier mettait en cause le facteur coordination ( $F(6,72)=26.15$ ,  $p<0.01$ ). Comme nous pouvions nous y attendre les patrons de coordination en phase et en anti-phase étaient plus stables que les autres ( $p<0.01$  quelle que soit la coordination prise en compte exceptée la différence entre les patrons à  $30^\circ$  et  $180^\circ$  pour laquelle  $p<0.05$ ). Aussi, le patron de coordination exécuté lorsque la cible était le  $90^\circ$  de décalage de phase était le moins précis de tous.

Nous n'avons noté aucun effet du facteur jour, l'apprentissage du patron de coordination à  $270^\circ$  n'a pas entraîné de changement de la dynamique intrinsèque en terme d'erreur entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$ . Les instructions n'ont eu aucun effet sur cette dynamique comme le montre l'absence d'effet statistique prenant en compte le facteur groupe.



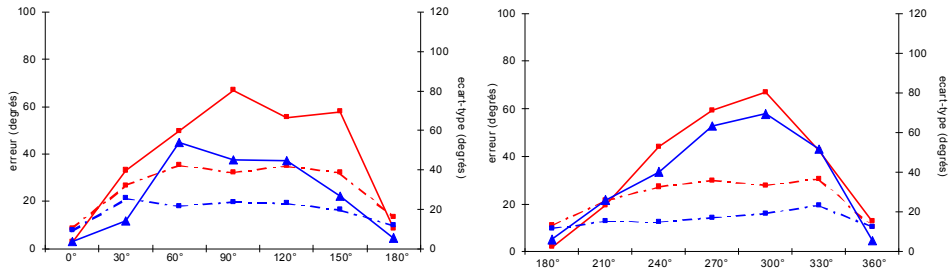


Figure 28: Evolution de la dynamique intrinsèque pendant l'apprentissage d'une coordination à 270° en fonction des patrons de coordination cibles. Pour chaque graphique, les courbes en pointillés représentent la variabilité des patrons de coordination exécutés, les courbes pleines l'erreur au patron requis. Les triangles bleus représentent la dynamique intrinsèque du groupe «analogique» et les carrés rouges celle du groupe «décomposition». Les graphiques du haut décrivent l'évolution de la dynamique avant l'apprentissage, les graphes du milieu la dynamique à la fin de la deuxième session d'apprentissage et les graphes du bas celle de la session de rétention à long terme. Les graphiques de gauche indiquent les résultats concernant l'exploration de 0° à 180° et ceux de droite les résultats de 180° à 360°.

### 3.2.2. Variabilité des patrons exécutés

L'analyse de la variabilité des patrons de coordination révèle des effets différents de ceux trouvés dans l'étude de l'erreur des patrons exécutés (voir figure 28). Tout comme l'erreur, notre analyse portera d'une part sur l'exploration de la dynamique intrinsèque de 180° à 360° puis de 0° à 180°.

L'analyse des patrons de coordination lorsque l'exploration s'étendait du patron en anti-phase vers le patron en phase ne révélait qu'un effet, celui du facteur coordination ( $F(6,72)=7.50$ ,  $p<0.01$ ). Le facteur session échouait de peu au seuil de significativité ( $p=0.067$ ). L'effet du facteur coordination s'appuyait sur une différence entre les patrons à 300° et 330° et les patrons en phase et en anti-phase ( $p<0.05$  pour tous les effets et  $p<0.01$  pour la différence entre la phase et le patron à 330° avec  $m_{180°}=11.16°$ ,  $m_{300°}=29.70°$ ,  $m_{330°}=33.17°$  et  $m_{360°}=10.87°$ ). Aucun effet du facteur groupe n'a été constaté.

Concernant l'analyse de l'exploration de la dynamique intrinsèque de 0° à 180°, les effets se sont révélés différents et plus complexes. Comme pour l'exploration explicitée précédemment nous avons observé un effet du facteur coordination ( $F_{6,72}=18.18$ ,  $p<0.01$  avec une différence de stabilité des patrons en phase et en anti-phase par rapport aux autres patrons, la valeur du  $p$  évoluant entre  $p<0.01$  et  $p<0.05$ ). Un effet du facteur jour était également significatif ( $F(2,24)=4.95$ ,  $p<0.01$ ). Cet effet était dû à une augmentation générale et transitoire de la variabilité des patrons de coordination exécutés. Il n'y a eu qu'une

différence entre les première et deuxième sessions ( $p < 0.05$  avec  $m_{\text{session1}} = 22.52^\circ$  et  $m_{\text{session2}} = 30.86^\circ$ ). Le niveau de stabilité de la session de rétention à long terme s'est avéré aussi important que celui de la première session ( $p > 0.05$  entre les sessions 1 et de rétention à long terme et  $p < 0.05$  pour la différence entre la session 2 et la session de rétention à long terme avec  $m_{\text{rétention}} = 22.61^\circ$ ). Enfin, un effet d'interaction groupe X coordination a été mis en évidence ( $F(6,72) = 2.25$ ,  $p < 0.05$ ). Des comparaisons planifiées indiquaient une stabilité plus importante des patrons exhibés par le groupe «analogique» lorsque les patrons demandés étaient les patrons à  $60^\circ$  et  $120^\circ$  ( $p < 0.05$ ).

#### **4. Discussion**

Le but de cette dernière étude était de valider l'effet d'instructions de niveaux de description de la tâche et de pouvoir attractif différents sur l'acquisition d'une habileté de coordination. La spécificité de la tâche requise résidait dans l'absence totale de feedbacks extrinsèques. Il était attendu qu'une instruction analogique définissant le mouvement relatif des oscillateurs permet un apprentissage plus consistant qu'une instruction descriptive définissant la position relative de chacune des manettes lors de chacun des points de revirement. Cette acquisition devait être favorisée par un pouvoir attractif plus important de l'information comportementale utilisée grâce à l'évocation permise par l'instruction analogique. Il était aussi attendu que les patrons de coordination exhibés par le groupe «décomposition» soient plus précis.

Les résultats indiquent un avantage certain de la consigne analogique allant en partie dans le sens de nos hypothèses. Le groupe «analogique» exhibait des patrons de coordination plus stables que le groupe «décomposition». Cette distinction restait présente durant l'ensemble de l'expérimentation jusqu'au test de rétention à long terme. Parallèlement, l'ensemble des sujets, quelque soit le groupe pris en compte, n'a pas été capable de réaliser précisément et stablement le patron de coordination requis. Ainsi, l'erreur moyenne au patron requis n'a que très rarement été inférieure à  $30^\circ$ . En fin d'apprentissage lors des deux premières études, l'erreur au patron requis s'approchait de  $11^\circ$  (entre  $11^\circ$  et  $14^\circ$  pour les deux études précédentes). Les sujets de ces deux premières études présentaient ainsi des patrons de coordination beaucoup plus précis que ceux des sujets de cette dernière étude. Le protocole utilisé associé à l'absence de retour d'information entravait le dépassement des coordinations spontanées. La diminution du niveau des contraintes par rapport à la littérature (Zanone &

Kelso, 1997; Kelso & Zanone, 2002) et par rapport à nos études antérieures n'a pas permis une exploration optimale, canalisée, de l'espace de travail perceptivo-moteur. Les tâches mises en place par Zanone et Kelso demandaient aux sujets de produire des patrons de coordination spécifiés par deux métronomes visuels. Une information comportementale environnementale définissait durant la pratique motrice le mode de coordination requis. Ce résultat renforce l'idée que l'apprentissage est un processus complexe qui ne dépend pas exclusivement du temps de pratique mais aussi des phases de repos, du nombre de sessions quotidiennes, des contraintes de la tâche ainsi que de la quantité et la qualité des retours d'information prodigués. Les sujets de nos deux expérimentations précédentes ont stabilisé plus précocement que ceux de la présente étude des patrons de coordination. Ce résultat met en évidence l'efficacité d'un feedback à retardement renseignant sur le mode de coordination engagé et sur l'écart au patron requis.

Les sujets de cette étude n'ont pas stabilisé le patron de coordination requis. Toutefois, notre plan expérimental a permis de mettre en évidence un effet immédiat et différencié des instructions. Compte tenu de nos résultats précédents, cette absence d'apprentissage ne nous empêche pas de discuter l'effet des instructions. Lors des études antérieures, les effets des instructions étaient présents lors des deux premières sessions. Ensuite, la pratique motrice et le feedback ont permis une amélioration globale de la performance. Les effets des instructions s'estompaient après deux sessions journalières de pratique motrice. Plus les sujets pratiquaient et plus les modes de coordination s'approchaient de la cible unique que représente le patron de coordination à 270°. Il convient donc de prendre en compte les résultats de la présente expérimentation en dépit d'un apprentissage non achevé.

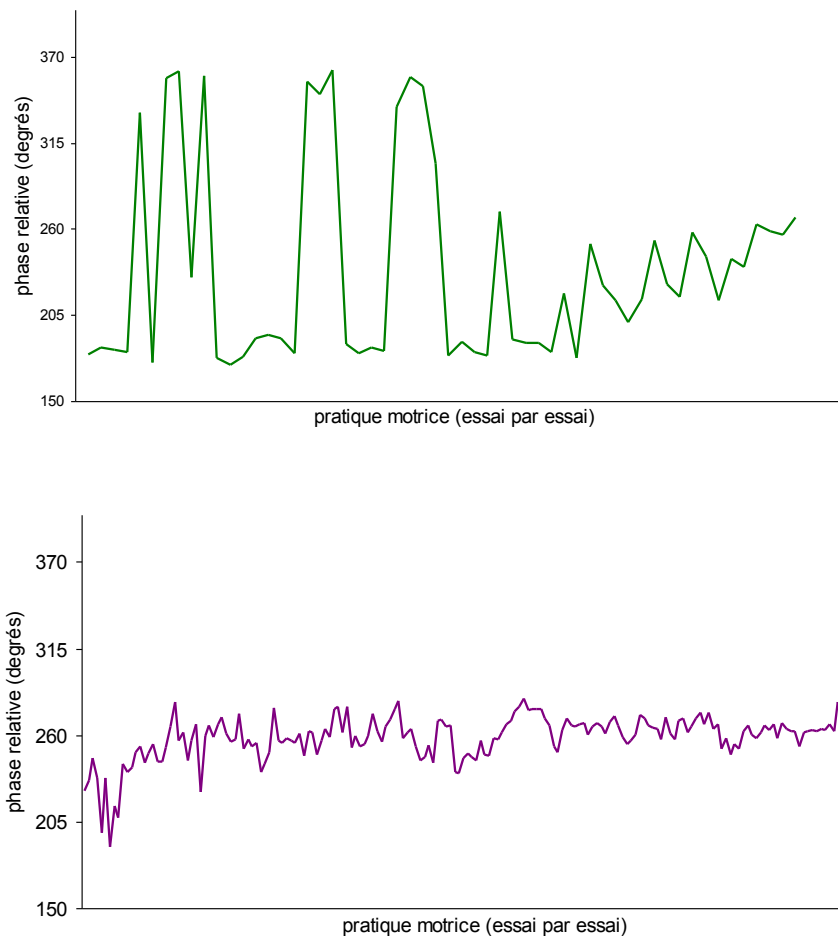
Cette faible consistance des patrons de coordination s'accompagnait d'une baisse de l'erreur au cours d'une même session d'apprentissage. Le gain de précision acquis ne se traduisait pas par une précision accrue au début de la session suivante. Ce constat tient au fait que nous n'avons remarqué aucun effet significatif du facteur jour concernant cette variable. Conjointement, la phase relative moyenne des patrons moteurs n'a statistiquement pas évolué au cours de l'apprentissage, ni à long terme d'ailleurs. Ces résultats associés à la plus faible variabilité des patrons exécutés par les sujets du groupe analogique mettent en évidence que l'instruction analogique a permis la construction d'un patron de coordination mémorisé aussi peu précis que celui du groupe "décomposition". Aussi, le feedback joue un rôle fondamental de par sa capacité de renforcement. Ici, sans retour d'information les sujets n'ont pu renforcer

un patron de coordination mémorisé efficace. La conséquence en est le manque d'effet statistique du facteur jour concernant l'analyse de l'erreur au patron requis.

Les patrons moteurs étaient principalement biaisés vers le patron de coordination en anti-phase. La simulation prescrivait de par sa conception un patron de coordination plus proche de l'anti-phase que de la phase (Scully & Newell, 1985). Cependant, nous avons constaté, lors d'une analyse essai par essai, de plus nombreux biais vers le patron en phase que lors des deux expérimentations précédentes. Plusieurs sujets prenaient appui sur le patron de coordination en phase pour favoriser la découverte de la dynamique de coordination. La suppression du feedback a entraîné une baisse du niveau des contraintes, dès lors, l'exploration motrice s'en est retrouvée accrue. Cet effet est exacerbé lorsque les sujets reçoivent l'instruction de faible niveau de description. Donner un retour d'information, comme le suggère la théorie proposée par Schmidt (1988), permet d'entériner et de renforcer un mode de coordination. Toutefois, nous concevons différemment l'apprentissage moteur. Nous l'envisageons comme un dépassement des coordinations spontanées et comme le résultat de l'interaction d'un ensemble de contraintes pesant sur le système. La coordination émerge de cette interaction, du conflit entre l'information comportementale mémorisée, des tendances intrinsèques du sujet, de son vécu, du matériel utilisé et de bien d'autres facteurs. Le feedback permet alors un renforcement de l'information comportementale seulement si le mode de coordination exhibé est suffisamment correct. Lorsqu'un feedback est négatif, le sujet se place dans une situation de découverte de la tâche. De prime abord, les participants de la présente expérimentation ne possédaient pas de référence de correction précise, comme le conçoivent Hodges et Lee (1999). Une certaine inertie décrivait les modes de coordination (voir figure 29). Ainsi, le manque de retour d'information rendait les patrons de coordination intrinsèques d'autant plus attractifs, leur dépassement s'en trouvant entravé. Il en résulte une légère stagnation dans les patrons de coordination exhibés. Cette caractéristique a entraîné un apprentissage plus laborieux que celui décrit dans la littérature (Zanone & Kelso, 1992, 1997; Fontaine et al., 1997; Swinnen et al., 1997; Hodges & Franks, 2000).

Le feedback reste une aide à l'apprentissage importante mais pas indispensable. Comme nous le mettions en avant en introduction, il est difficilement concevable sur le plan écologique de donner un retour d'information à l'ensemble des sujets dans une situation scolaire. Par contre, il convient de mettre en évidence que l'apprentissage moteur peut être facilité en donnant une instruction efficace et puissante comme une instruction analogique

décrivant le mouvement relatif des oscillateurs principaux.



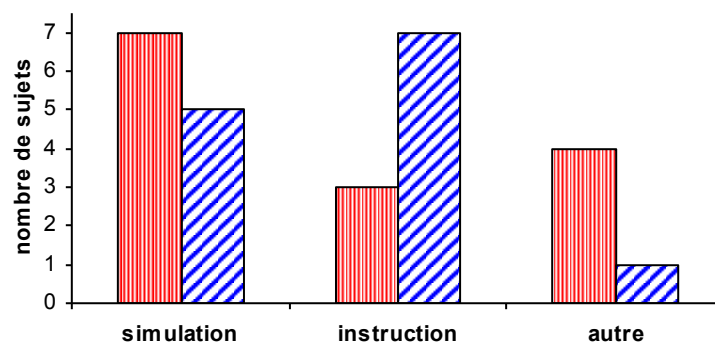
*Figure 29: Evolution de la phase relative moyenne essai par essai. Le graphique du haut représente un sujet du groupe expérimental «décomposition» de l'étude 3 et le graphe du bas un sujet de l'expérimentation 1 (groupe «décomposition») recevant un feedback régulièrement.*

L'absence d'un réel apprentissage en terme de précision de patron de coordination mémorisé n'a cependant pas entraîné une dégradation de la performance à long terme. Globalement, les patrons de coordination des deux groupes étaient d'une même précision en fin d'étude et lors de tests de rétention à plus ou moins long terme. Ce qui a été modifié au sein de la dynamique intrinsèque le restait au bout de 8 à 10 jours de repos. Aussi, les patrons de coordination ont tout de même gagné en stabilité. L'erreur ne baissant pas à travers les sessions d'apprentissage, le niveau de stabilité des patrons exécutés était légèrement plus important.

Le groupe recevant l'instruction analogique présentait des patrons de coordination plus stables tout au long de l'expérimentation et même à long terme. L'instruction analogique a

permis l'activation d'une information comportementale mémorisée plus puissante que celle du groupe recevant l'instruction descriptive. Contrairement aux résultats de Renaud (1989) et de Laugier (1995), le fait de donner une instruction analogique semble pouvoir favoriser l'acquisition motrice, comparé à une instruction descriptive. Cependant, la précision du patron de coordination mémorisé n'était pas inférieure pour le groupe recevant l'instruction de faible niveau de description de la tâche à réaliser. En effet, l'absence d'effet significatif du facteur groupe concernant la précision des patrons de coordination exécutés et la phase relative moyenne laisse supposer que le patron de coordination mémorisé était tout aussi imprécis quel que soit le groupe. La consistance collective des informations comportementales de chaque groupe demeurait relativement identique d'un groupe à l'autre. La consistance collective d'attraction était toutefois relativement plus importante pour le groupe «analogique», cependant, ce résultat ne fut pas statistiquement vérifié. Nous pouvons ainsi en déduire que les instructions permettent l'émergence d'une information comportementale mémorisée plus ou moins puissante. Une consigne analogique décrivant le mouvement relatif des deux oscillateurs les plus importants lors de l'apprentissage d'une tâche de coordination bimanuelle permet l'activation d'une information comportementale mémorisée plus puissante et attractive qu'un ensemble de consignes descriptives. Aussi, la précision du patron de coordination mémorisée, mais aussi son affinement sont facilités par la présence d'un retour d'information, les instructions et la pratique motrice favorisant beaucoup moins cette construction.

Les entretiens réalisés en fin de pratique nous ont permis d'expliquer en partie les résultats concernant la consistance collective des informations comportementales. Leurs résultats repris dans la figure 30 indiquent que l'ensemble des sujets du groupe «analogique» utilisait l'instruction de haut niveau de description de la tâche.



*Figure 30: Histogramme représentant l'utilisation de chacune des informations avant pratique. Les barres rouges striées verticalement représentent les résultats des entretiens du groupe «décomposition» et les barres bleues striées diagonalement représentent les résultats des entretiens du groupe «analogique».*

Comme pour l'expérimentation 1, seuls 3 sujets sur 7 indiquaient utiliser la décomposition. Un sujet de ce groupe refusait même de regarder cette décomposition sous peine d'être perturbé. Ce résultat peu étonnant au vu des différents aspects négatifs d'une instruction descriptive (Hodges & Franks, 2001) met bien en évidence le manque d'enthousiasme que crée ce type d'instruction. Il en découle une performance globale inférieure pour ce groupe. Aussi, nous avons appris que les 4 sujets ne se servant pas de l'information de faible niveau de description de la tâche se créaient spontanément un rythme imaginaire à 2, 3 ou 4 temps.

Nous avons effectué une étude intra-groupe pour les sujets recevant la décomposition de la tâche à réaliser. Lors de cette nouvelle analyse, nous avons comparé les sujets utilisant l'instruction à ceux ne l'utilisant pas préférant se créer une référence rythmique. Nous pouvions émettre l'hypothèse que le groupe de sujets n'utilisant pas la décomposition devait exécuter des patrons de coordination plus stables, l'utilisation d'une aide à l'apprentissage individuelle favorisant la stabilisation d'un patron de coordination. Les résultats de cette analyse n'ont pas mis en évidence de réelle différence entre ces deux sous-groupes en terme d'erreur au patron requis. Le graphique de la figure 31, décrivant l'évolution de la variabilité des patrons exécutés pour ces deux sous-groupes, rend bien compte de l'inefficacité des instructions de décomposition, en dépit d'un effet statistique non significatif dû au faible nombre de sujets. Les sujets utilisant la décomposition exécutaient des patrons de coordination relativement plus instables que les sujets utilisant une information imaginaire rythmique. L'instruction de faible niveau de description ne semble pas être une instruction efficace.

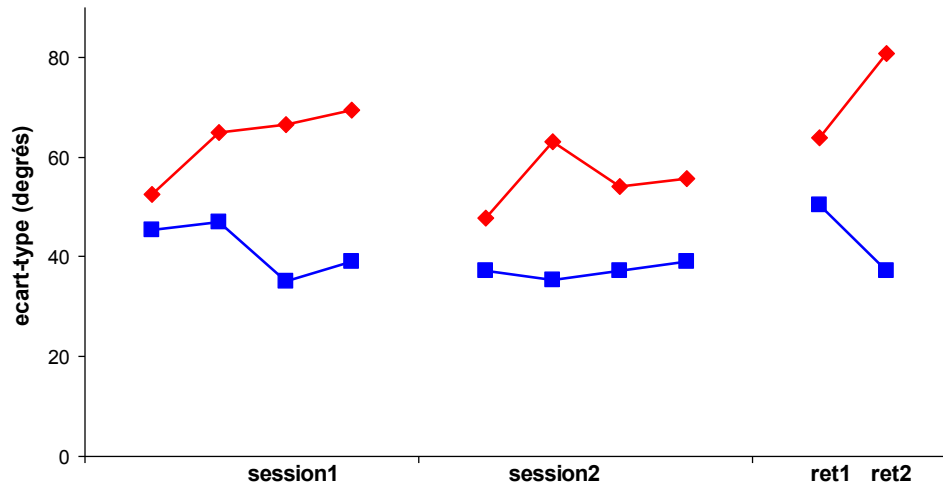


Figure 31: Evolution de la variabilité des patrons de coordination exécutés au cours de l'apprentissage pour les sujets du groupe «décomposition». Les carrés bleus représentent la variabilité moyenne des sujets n'utilisant pas la décomposition et les losanges rouges renvoient à la variabilité des patrons exécutés pour les sujets utilisant la décomposition.

Dans le même temps, il convient de mettre en avant l'universalité de l'instruction analogique. Tous les sujets sans exception ont déclaré avoir utilisé l'instruction analogique. De plus, cet engouement se traduit par une plus grande stabilité des patrons de coordination exécutés mais aussi de manière indirecte par une plus grande motivation des sujets de ce groupe.

Comme le remarquait Paivio (1985), une information analogique peut entraîner une plus grande motivation des sujets. La motivation et le niveau d'activation des sujets permettent une stabilisation des patrons de coordination plus importante (Deschamps, 2000). Aussi, l'analogie "ventée" que nous avons utilisée permet aux sujets d'être plus ouverts (*aware*) (Thomas & Mc Robbie, 2001). La création et surtout le renforcement de l'information comportementale mémorisée s'en trouvent davantage optimisés. Les sujets de ce groupe se retrouvent alors dans une situation comparable à celle s'ils recevaient un feedback concourant. Dès que le patron de coordination s'écarte un peu du patron requis, une correction s'effectue en découlant une plus faible variabilité pour ce groupe. Ce résultat pourrait être aussi expliqué par l'utilisation et la mise en relation de l'analogie et de l'activité motrice. Cet alignement mutuel permet l'utilisation simultanée des deux situations et sert alors autant de "réceptif" que de source d'information (Kurtz, Miao & Gentner, 2001). Cependant, comme nous l'avons déjà émis en hypothèse et remarqué lors de l'expérimentation 2, notre instruction ne permet

pas la construction d'un patron de coordination mémorisé aussi précis que nous le voudrions. Il conviendrait alors de construire une nouvelle instruction permettant un affinage du décalage de phase prescrit sans pour autant sacrifier l'aspect "puissamment informatif" dès les premiers essais de cette instruction.

L'étude de la dynamique intrinsèque détermine les changements profonds des capacités motrices des sujets dus à la pratique. Comme pour l'étude des effets "directs" sur l'apprentissage, il n'y a pas de restructuration des potentialités des sujets après l'apprentissage d'une tâche de coordination à 270°. Tout d'abord, il est bien entendu mis en évidence que les patrons de coordination exécutés diffèrent entre eux en termes de précision et de stabilité. Ainsi, tout au long de l'étude, les patrons de coordination en phase et en anti-phase représentaient les modes de coordination les plus précis. Il est tout aussi intéressant de noter que les patrons de coordination les moins précis étaient les patrons de coordination à 270° et à 300°. De même, le patron de coordination à 90° était celui dont l'erreur était la plus importante lors de l'exploration symétrique. Ces résultats montrent ainsi que le patron de coordination à mi-chemin entre les patrons en phase et en anti-phase représente toujours un bon moyen d'étude concernant le dépassement des coordinations spontanées pour des sujets présentant une dynamique de coordination bi-stable (Zanone & Kelso, 1992).

Tout comme l'analyse de la précision des patrons de coordination exécutés, nous n'avons pas observé de différences statistiques entre les 2 groupes concernant leur stabilité allant à l'encontre de notre hypothèse concernant la "malléabilité" des instructions. Les patrons les plus stables étaient les patrons en phase et en anti-phase. Les moins stables représentaient les patrons à 300 et 330°. Nous avons pu observer une baisse globale de la variabilité due à l'apprentissage mais seulement durant l'exploration de la dynamique de 0° à 180°. De même, nous avons mis en évidence un effet d'interaction groupe X coordination lors de l'exploration de 0° à 180°. Cet effet surprenant provenait de l'importante variabilité inter-individuelle des patrons moteurs retrouvée pour ce type de tâche. En effet, l'exploration révèle les tendances les plus profondes des sujets. Celles-ci sont au carrefour de multiples contraintes dont les expériences antérieures et les prédispositions de chacun. Il est fréquent et compréhensible de retrouver une dynamique différente d'un groupe à l'autre. Cependant cet effet est uniquement apparu lors de l'exploration de 0° à 180° et de plus a mis en évidence une différence entre les groupes seulement lorsque les patrons requis étaient les patrons à 60° et à 120°, le groupe analogique exécutant des patrons plus stables. Cet effet étant présent au

cours de l'ensemble des tests, il semble que les deux groupes n'étaient pas totalement équivalents. Ce constat met aussi en avant la différence de contraintes entre les tâches réalisées avec un guidage de la main dominante ou non. En effet, l'effet de la dominance de la main est représenté par l'absence d'effet identique lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque symétrique. Lors de l'exécution de la dynamique intrinsèque de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ , la main qui guide la coordination (celle dont les oscillations sont en avance par rapport à celles du deuxième oscillateur) est la main droite. Or tous nos sujets étaient droitiers ainsi la tâche plus facile révélait de plus importants effets que le guidage était contrarié comme c'était le cas pour l'exploration de  $180^\circ$  à  $360^\circ$  défini par un guidage de la main gauche, situation relativement atypique pour un droitier.

Comme lors de l'étude des patrons de coordination durant la phase d'apprentissage, les effets de la pratique et des instructions ont été peu bénéfiques au cours de la phase d'exploration de la dynamique intrinsèque. Cela conforte nos résultats concernant la phase d'apprentissage. La pratique motrice n'a pas été suffisante pour permettre de stabiliser de nouveaux patrons de coordination. Il semble ainsi que les légers effets de l'apprentissage ne se répercutent pas directement lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque. Ici se pose le problème de la similarité de la tâche. En effet, lors des sessions d'apprentissage, les sujets devaient exécuter un patron de coordination à  $270^\circ$  cadencé par un seul bip. Dès lors, aucune information environnementale ne spécifiait le mode de coordination requis. Lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque, les sujets avaient à synchroniser les oscillations manuelles avec deux métronomes auditifs spécifiques à chacun des oscillateurs. La tâche ne présentait donc plus les mêmes caractéristiques (Hodges & Franks, 2002). Ainsi, la piètre qualité de l'apprentissage associée à une tâche un peu différente n'induit que peu de changements de la dynamique intrinsèque. Le résultat le plus important était une déstabilisation provisoire des patrons de coordination lors de l'exploration de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ . Les patrons de coordination étaient globalement plus précis en fin d'apprentissage mais pas plus stables. Ce résultat met en avant le manque d'apprentissage et de pratique de la part de nos sujets. Aussi, l'absence de différence entre les deux groupes lors de l'étude de la dynamique intrinsèque met en évidence que lors de l'exploration de la dynamique intrinsèque, les sujets recevant l'analogie n'ont pas adapté leur façon d'appréhender la tâche. Nous aurions plus émis l'hypothèse, au vu de la plus grande stabilité des patrons exécutés lors des phases d'apprentissage pour le groupe analogique, que les sujets puissent adapter cette instruction

pour faciliter l'exécution de la tâche d'exploration. Or ceci n'a pas été le cas, montrant que l'apprentissage n'a pas été important.

Les instructions que nous avons utilisées ont eu des répercussions différentes auprès des participants. L'instruction analogique a permis de réaliser des patrons de coordination plus stables que l'instruction décomposant la position relative des oscillateurs. De plus, nous avons observé que l'utilisation des instructions descriptives n'est pas systématique. Lorsque les sujets recevaient ce type d'instructions, ceux-ci avaient des stratégies distinctes dans la sélection des plus appropriées. Ces stratégies individuelles nous incitent à repenser la pertinence des instructions. Notamment, il ne convient pas seulement de mettre en évidence une différence entre les groupes mais aussi d'écouter les sujets dans le but de comprendre l'efficacité des instructions. Il a été intéressant de se rendre compte que quatre sujets du groupe décomposition se créaient un rythme mental, information de haut niveau de description. Ce type d'information, utilisé dans l'expérimentation 1, n'a pas connu le succès escompté. Il semble ainsi qu'un axe de travail futur serait d'individualiser les instructions. Cependant, l'utilisation répandue au sein du groupe analogique de l'instruction nous laisse penser que construire une consigne générale, collective, peut toutefois permettre au plus grand nombre d'apprendre une coordination spécifique.

## Discussion générale et perspectives

Le but de cette thèse était de tester la pertinence d'un nouveau cadre d'analyse pour les informations prodiguées avec l'apprentissage moteur. Nous avons utilisé comme support la tâche de coordination bimanuelle avec un décalage de phase à  $270^\circ$  entre les deux oscillateurs. Pour faciliter l'apprentissage nous avons eu recours à différents moyens permettant de spécifier le mode de coordination requis. En étudiant les adaptations des sujets nous nous sommes placés du côté des théories dynamiques qui conçoivent l'apprentissage comme le dépassement des coordinations spontanées. Théoriquement, l'apprentissage d'un patron de coordination bimanuelle passe par l'élaboration d'une information comportementale mémorisée qui va entrer directement en conflit avec les tendances spontanées de l'apprenant..

Nous voulions valider le cadre d'analyse des instructions que nous avons proposé en manipulant le paramètre  $c_{\text{mem}}$  et le patron de coordination mémorisé  $\psi_{\text{mem}}$  de l'équation de Schöner (1989). L'hypothèse principale postulant que le niveau de description de la tâche de par ses composantes spatiale et temporelle représente la variable fondamentale à l'élaboration d'instructions reposait sur le travail théorique de Scully et Newell (1985) et sur les études menées sur les retours d'information de type figure de Lissajous. Une revue de littérature tendait à démontrer que l'information essentielle à donner à un apprenant définit le mouvement relatif des composantes, information de haut niveau de description. Nous avons ensuite tenté de valider ce nouveau cadre d'analyse en manipulant le niveau de description de la tâche à réaliser en élaborant différentes instructions. Dans une première étude, des instructions définissant le mouvement relatif des oscillateurs ont été confrontées à des instructions spécifiant seulement la position relative de ces derniers. Une instruction spécifiant le mouvement relatif représentait une information de haut niveau de description de la tâche à réaliser dans le sens où elle incluait une dimension temporelle dans le déplacement des oscillateurs et une dimension relationnelle entre les deux oscillateurs. Cette structuration temporelle de la relation entre les oscillateurs n'était pas présente dans l'instruction spécifiant les positions relatives des composantes. Les résultats indiquaient que ces deux instructions contraignaient davantage les sujets que le fait de ne donner qu'une démonstration. Aussi, un apprentissage observationnel seul n'induit pas un apprentissage précoce. En d'autres mots, une simulation du mode de coordination à exécuter ne permet pas en soi d'activer une information comportementale suffisamment puissante pour entrer précocement en compétition avec les patrons de coordination intrinsèques. Nous n'avons néanmoins pas mis

en évidence la supériorité de l'instruction de haut niveau de description par rapport à une instruction définissant la position relative des oscillateurs, instruction de plus faible niveau de description.

Nous avons alors tenté d'augmenter au moyen d'une instruction analogique le niveau attractif, le paramètre  $c_{mem}$  de l'équation de Schöner (1989), de l'information comportementale mémorisée évoquée par l'instruction définissant le mouvement relatif des oscillateurs. L'analogie était supposée faciliter le passage langage-action (Annett, 1985). Nous avons confronté cette instruction à un ensemble descriptif définissant exhaustivement le mouvement et les positions relatifs des oscillateurs. Il en découlait une plus grande stabilité des patrons de coordination exécutés en début de pratique pour le groupe recevant l'instruction analogique.

En comparant les effets de l'instruction analogique à ceux de l'instruction de faible niveau de description, nous ne pouvions conclure en un quelconque bénéfice statistique de la consigne analogique. Nous avons mis sur pied une dernière étude permettant alors d'éviter un effet d'interaction instruction/feedback. Les résultats indiquaient une réelle supériorité de l'instruction analogique face à l'instruction de faible niveau de description de la tâche à réaliser. Cependant, nous n'avons pas mis en place une expérimentation suffisamment longue pour permettre d'établir une réelle adaptation, un apprentissage à long terme des sujets.

Les résultats de notre première étude nous permettent de conclure qu'une situation de découverte, symbolisée par le groupe ne recevant qu'une démonstration, lorsque la tâche est peu contraignante et non dirigée dans l'exploration de l'espace perceptivo-moteur, ne présente pas les caractéristiques fondamentales permettant une adaptation précoce de la coordination. Aussi, les effets des instructions s'estompaient en fin d'apprentissage, tous les groupes testés atteignant le même niveau de performance en fin d'expérimentation. La pratique motrice et surtout le feedback sont des composantes fondamentales favorisant l'apprentissage et permettant de guider la recherche de la solution motrice requise. Parallèlement, il est nécessaire de constater qu'un sujet recevant peu d'informations relatives à la tâche à réaliser fait d'autant plus ressortir ses tendances personnelles. Moins un sujet reçoit d'instructions et plus sa coordination est spécifique et individuelle (Newell & Van Emmerick, 1990). Les instructions représentent ainsi un ensemble pouvant contraindre de manière plus ou moins puissante la coordination pour canaliser et permettre l'émergence rapide d'un mode de coordination adapté. Comme nous voulions le mettre en évidence, l'aspect qualitatif des

instructions est au centre de leur efficacité. Ce seul aspect qualitatif n'a pas été mis en valeur lors de notre première expérimentation. Les résultats concernant cette première étude sont toutefois expliqués par le manque de clarté de l'instruction de haut niveau de description de la tâche. Il nous a semblé que cette instruction manquait de propriétés visuelles. L'information comportementale est au carrefour de l'interaction des différents systèmes de mémoire verbal et non verbal, en réduisant la capacité de description d'un de ces systèmes, l'information comportementale activée et particulièrement son pouvoir attractif s'en retrouvent amenuisés. Cette hypothèse n'a pas été vérifiée mais demande à être testée en prodiguant une instruction de haut niveau de description de la tâche à réaliser mêlant le pôle visuel au pôle auditif que nous avons trop mis en avant. Un résultat allant dans le sens de cette hypothèse permettrait d'asseoir notre cadre d'analyse mettant nos instructions à un même niveau potentiel de codage.

Parallèlement aux mesures «comportementales» des effets de l'apprentissage et des différentes aides, directement et objectivement observables, nous avons pris en compte le pôle attrayant et concret des instructions. Nous avons mis en évidence que de nombreux sujets de nos différentes expériences n'utilisaient pas les instructions prodiguées. Prenant en compte ce résultat et ceux de certaines études sur le goal setting, il serait indispensable lors de tout travail sur les différentes aides à l'apprentissage, de se renseigner sur leur réelle utilisation. Il est justifié de penser que nos questionnaires n'étaient pas des modèles d'exactitude et se fondaient sur des réponses décalées (en fin de session par exemple), sans réelle mise en évocation. Toutefois, ils donnaient un fil directeur remarquable lorsque des effets étaient tranchés comme ceux de la "non-utilisation" de l'instruction de décomposition. Lors de nouvelles études sur l'effet des instructions sur l'apprentissage moteur, il conviendrait de mettre en place des entretiens parallèlement à l'analyse des coordinations étudiant les différentes informations utilisées, maniées, transformées par les apprenants.

Ainsi, en dépit d'une bonne performance des sujets du groupe «décomposition» lors de notre première expérimentation, cette consigne n'était pas une instruction efficace dans le sens où elle n'interpellait pas l'ensemble des apprenants. Le fait qu'elle ne soit pas "utilisable" en l'état pour combattre la dynamique intrinsèque semble venir de son côté quantitatif (beaucoup d'informations) mais aussi de son côté "statique": elle ne prescrit aucun mouvement, aucun déplacement. Il convient alors de ne pas prodiguer ce type d'instruction lors de l'apprentissage: il ne favorise pas directement l'acquisition, place dans une situation

déstabilisante au point que les sujets doivent l'adapter. Cependant, il convient de noter que les sujets de notre première étude recevant l'instruction de type rythmique n'ont pas présenté un apprentissage facilité. Cependant, et ironiquement, la dernière expérimentation a permis de mettre en évidence que la moitié du groupe «décomposition» s'est créé un rythme imaginaire avec lequel rentrait en conflit la coordination exécutée. Cependant, ces sujets ne présentaient pas de patrons de coordination plus précis et stables (le nombre de sujets étant trop faible pour mettre en évidence un effet statistique). Nos résultats laissent penser qu'il serait utile de monter une nouvelle expérimentation, comme nous l'avons déjà remarqué, adaptant l'instruction rythmique.

Contrairement aux récents résultats retrouvés dans la littérature (Green & Flowers, 1991; Wulf & Weigelt, 1997), les instructions ont eu un effet différencié sur l'acquisition motrice. Cet effet est d'autant plus marqué que la tâche est peu contraignante, les conséquences de nos instructions ont été exacerbées par l'absence de feedback. Nous pouvons émettre l'hypothèse que l'apprentissage est possible sans feedback extrinsèque (Swinen, 1996), mais aussi qu'une tâche informationnellement pauvre est hautement dépendante de la qualité des consignes; la manipulation des contraintes tout au long de notre travail permettant d'assurer cette idée. Cependant, les résultats de notre dernière étude mettent en évidence que l'apprentissage est d'autant plus laborieux en l'absence de feedback. En effet, une consigne analogique a permis l'émergence d'une information comportementale mémorisée plus puissante dès le début de l'étude, par contre cette information comportementale n'a pas évolué en 2 sessions de pratique motrice. Lors de l'exécution d'une tâche de coordination bimanuelle, le feedback joue un rôle fondamental de renforcement que les instructions à elles seules ne peuvent assurer. Toutefois, cette dernière étude demanderait à être répliquée sur une plus longue phase d'apprentissage (4 sessions comme dans nos 2 premières études). L'absence de feedback a mis en évidence que les sujets n'ont pas été capables de modifier leurs modes de coordination. Dès lors, cette stabilité des coordinations peut être due à une échelle de temps d'apprentissage imposée trop courte. Une étude plus longue répondrait à cette hypothèse.

Nos différents résultats permettent d'avoir une nouvelle lecture des instructions. Tout d'abord, il apparaît qu'il convienne d'utiliser un matériel instructionnel diversifié. Il ne faut pas hésiter à donner une information visuelle couplée à une information verbale. La qualité du double codage n'est plus à démontrer, les résultats de l'expérience 1 confirmant cet axe. Ensuite, l'aspect qualitatif est primordial dans la mesure où donner une instruction exhaustive

décomposant les positions relatives des oscillateurs ne permet pas un apprentissage plus efficace dans des tâches rythmiques.

Dans la même veine, donner beaucoup d'informations concernant la tâche à réaliser ne permet pas l'activation d'une information comportementale puissante. Toutes ces techniques instructionnelles ont cependant des qualités relatives à la spécification du patron de coordination à réaliser. En dépit d'un manque d'attraction des patrons de coordination, il semble que les deux techniques précédemment analysées (symbolisées par les groupes «démonstration» et «exhaustif») permettent l'activation d'un patron de coordination mémorisé tout aussi précis que des instructions analogiques et rythmiques. Cette qualité est importante, mais à nos yeux, la puissance attractive de l'instruction représente le paramètre qualitatif essentiel pour faciliter le dépassement des coordinations spontanées. Nous mettons en avant les instructions analogiques qui permettent la création d'une information mémorisée puissante entrant dès les premiers essais en conflit avec les patrons intrinsèques. Cette puissance attractive induit l'élaboration d'une référence de correction robuste qui permet d'exécuter des patrons de coordination relativement stables. L'analogie, permettant l'utilisation d'une image mentale, a très bien fonctionné tout au long de notre travail.

De plus, il nous semble judicieux de suivre les recommandations d'Hanrahan (1994) concernant la création d'images vu que tous les sujets ont utilisé l'instruction analogique. Il nous semble que l'aspect directif qualitatif des instructions est fondamental. L'analogie ici employée définissait le mouvement relatif des oscillateurs. Le fait de mettre en place une analogie couplée à la spécification du mouvement relatif a permis l'activation d'une information mémorisée relativement correcte mais surtout très puissante. Pour mesurer isolément l'impact de l'analogie, il serait ainsi intéressant d'élaborer une nouvelle instruction analogique décrivant la position relative des oscillateurs. En mettant en confrontation ces deux instructions nous pourrions quantifier la part explicative de l'analogie et celle de l'aspect qualitatif de l'instruction ainsi que leur interaction. Cette distinction appliquée dans l'étude des effets des instructions descriptives (expérimentation 1) n'a pas eu le succès escompté.

Pourquoi l'analogie employée a-t-elle été efficace en début d'apprentissage? Cette question est complexe et nous ne sommes pas en mesure d'y répondre complètement. Nous pouvons indiquer que l'instruction analogique a été pertinente de par sa constitution mais aussi de par les effets indirects engendrés. Il était très intéressant d'observer les sujets exécuter la tâche. Le mode d'engagement des sujets recevant l'analogie était très différent de celui des

autres sujets. Ce groupe était caractérisé par des sujets très à l'écoute de leur coordination, les yeux étant, semblait-il, majoritairement fermés. De plus, le côté insolite de l'instruction analogique modifiait les contraintes de la tâche. Le but en était différent ("je ne bouge pas mes mains mais je sens le vent", phrase émise par un sujet). Lors de l'expérience 2, les sujets «analogiques» fermaient les yeux et "ondulaient" leur corps. Le vent était intégré par l'ensemble du corps. Ce dernier est alors assujéti à la tâche. Dans notre cas, cette conséquence n'a pas entraîné de modifications négatives de la prestation. Toutefois, si la coordination ne doit impliquer qu'un ensemble d'oscillateurs bien distinct, il conviendrait d'élaborer une instruction n'induisant que des effets localisés. Cette observation demande à être confirmée. En effet, nous n'avons effectué aucune mesure précise à ce sujet. Une nouvelle expérimentation pourrait ainsi être menée étudiant le déplacement global, collectif du corps en fonction de l'instruction utilisée. Ce déplacement serait alors pris en compte par l'analyse des oscillations du centre de gravité. Il serait intéressant d'étudier en parallèle l'ouverture sensorielle du sujet (Singer et al., 1993), cette dernière favorisant le couplage information comportementale/action.

L'instruction analogique a permis l'évocation d'une information comportementale plus attractive dès les premiers essais. Ce résultat, associé à la bonne prestation en fin de pratique des sujets recevant cette instruction dans l'étude 2 entre en contradiction avec les résultats de la littérature. Il n'est ainsi pas nécessaire de présenter une grande variabilité, une grande exploration de la dynamique de la tâche pour faciliter le dépassement des coordinations spontanées. Ce succès de l'instruction analogique permet d'envisager un nouveau mode d'engagement de la part des apprenants. L'activation d'une information acquise stabilise précocement les modes de coordination et n'entrave pas à long terme le processus d'apprentissage. Ce résultat fort doit permettre la réhabilitation des instructions pour peu qu'elles focalisent sur les variables essentielles de la coordination au sein des recherches expérimentales qui tendent à rejeter son rôle positif dans l'acquisition motrice (Vereijken, 1991; Wulf & Weigelt, 1997; Hodges & Franks, 2002).

Une perspective possible à notre travail serait de valider notre cadre d'analyse dans des tâches plus complexes, la tâche de coordination bimanuelle étant une première étape. Dans un récent article, Wulf et Shea (2002) discutent de la difficulté de généralisation de principes proposés dans l'étude de tâches simples à des tâches plus complexes. Toutefois, notre cadre d'analyse de la tâche permet d'espérer que les résultats que nous avons mis en évidence lors

de l'apprentissage d'une coordination bimanuelle sont généralisables dans des tâches plus complexes mais toujours peu contraignantes. Nous avançons l'idée que la complexité en terme de coordination est relativement indépendante du réseau de contraintes pesant sur le système. Dans ce sens, les résultats de Kelso et Zanone (2002) tendent à montrer une certaine transférabilité des patrons de coordination acquis lors d'une tâche de coordination bimanuelle à une tâche de coordination avec les jambes et réciproquement. La qualité de la tâche de coordination bimanuelle réside dans la connaissance des coordinations spontanées et la détermination des composantes oscillantes fondamentales. Il conviendrait dans l'analyse d'une tâche de déterminer ces composantes fondamentales. Une deuxième étape consisterait en la détermination du mouvement relatif requis ainsi que des tendances spontanées propres à la tâche (en général cela correspond à une synchronisation absolue des phases et des fréquences). Une instruction pertinente doit alors décrire le mouvement relatif de ces composantes les plus essentielles. Pour une tâche de lancer de javelot, le mouvement relatif semble déterminer le décalage de phase entre les mouvements de l'axe des épaules et celui de l'axe des hanches. Intégrer ce mouvement relatif dans une instruction analogique claire, positive permettra de favoriser l'acquisition motrice. L'apprentissage sera ainsi optimisé et mettra les sujets dans une situation motivante, amusante. Cet effet indirect n'est-il pas tout aussi fondamental?

## Bibliographie

- Abernethy, B. (1988). Dual-task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints. *Journal of Human Movement Studies*, **14**, 101-132.
- Adams, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, **3**, 111-150.
- Adams, J.A. (1978). Theoretical issues for knowledge of results. In G.E. Stelmach (Ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 229-240), New York: Academic Press.
- Adams, J.A. (1986). Use of the model's knowledge of results to increase the observer's performance. *Journal of Human Movement Studies*, **12**, 89-98.
- Adams, J.A. (1987). Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological Bulletin*, **101**, 41-74.
- Al-Abood, S.A., Davids, K., & Benett, S.J. (2001a). Specificity of task constraints and effects of visual demonstrations and verbal instructions in directing learners' search during skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, **33**, 295-305.
- Al-Abood, S.A., Davids, K., Benett, S.J., Ashford, D., & Martinez Marin, M. (2001b). Effects of manipulating relative and absolute motion information during the observational learning of an aiming task. *Journal of Sport Sciences*, **19**, 507-520.
- Anderson, J.A. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, **89**, 369-406.
- Annett, J. (1985). Motor learning: A review. In H. Heuer (Ed.), *Motor Behavior: Programming, Control, and Acquisition*. New York: Springer-Verlag.
- Annett, J. (1994). The learning of motor skills: Sports science and ergonomics perspectives. *Ergonomics*, **37**, 5-16.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: a social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Beek, P.J., Peper, C.E., & Stegeman, D.F. (1995). Dynamical models of movement coordination. *Human Movement Science*, **14**, 573-608.
- Bennett, D.M., & Simmons, R.W. (1984). Effects of precision knowledge of results on acquisition and retention of a simple motor skill. *Perceptual and Motor Skills*, **58**, 785-786.
- Bernstein, N.A. (1967). *The coordination and regulation of movement*. London: Pergamon.

- Blandin, Y., Proteau, L., & Alain, C. (1994). On the cognitive processes underlying contextual interference and observational learning. *Journal of Motor Behavior*, **26**, 18-26.
- Blandin, Y. (2002). L'apprentissage par observation d'habiletés motrices: un processus d'apprentissage spécifique? *L'année psychologique*, **102**, 523-554.
- Boyce, B.A. (1994). The effects of goal-setting on performance and spontaneous goal-setting behavior of experienced shooters. *The Sport Psychologist*, **8**, 87-93.
- Brooks, L.R. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch & B.B. Lloyd (Eds.), *Cognition and Categorization* (pp. 169-211), New York: Wiley.
- Cadopi, M. (1994). Sportif et danseur: représentation pour l'action chez de jeunes pratiquants. *Enfance*, **2-3**, 247-263.
- Cadopi, M. (1997). Nature et rôle des consignes dans l'apprentissage et le contrôle des habiletés morphocinétiques. In E. Pascual, J.L. Nespoulous & J. Virbel (Eds.), *Le texte procédural: langage, action et cognition*, Toulouse: Editions du Pôle Universitaire Européen (PRESCOT).
- Caillou, N., Nourrit, D., Deschamps, T., Lauriot, B., & Delignières, D. (2002). Overcoming spontaneous patterns of coordination during the acquisition of a complex balancing task. *Canadian Journal of Experimental Psychology*
- Carroll, W.R., & Bandura, A. (1982). The role of visual monitoring in observational learning of action patterns: Making the unobservable observable. *Journal of Motor Behavior*, **14**, 153-167.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, **8**, 293-332.
- Cutting, J.E., Proffitt, D.R., & Kozlowski, L.T. (1978). A biomechanical invariant for gait perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, **4**, 357-372.
- Delcor, L., Cadopi, M., Delignières, D., & Mesure, S. (in press). Dynamics of the learning of a morphokinetic movement sequence. *Neurosciences Letters*.
- Delignières, D., Nourrit, D., Sioud, R., Leroyer, P., & Micallef, J.P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science*, **17**, 221-241.
- Delignières, D., Nourrit, D., Deschamps, T., Lauriot, B., & Caillou, N. (1999). Effects of practise and tasks constraints on stiffness and friction functions in biological movements. *Human Movement Science*, **18**, 769-793.

- Delignières, D., Deschamps, T., Legros, A., & Caillou, N. (in press). A methodological note on non-linear time series analysis : Is Collins and De Luca (1993)'s open- and closed-loop model a statistical artifact? *Journal of Motor Behavior*.
- Deschamps, T. (2000). *Effets des contraintes motivationnelles et émotionnelles sur la dynamique des coordinations motrices*. Thèse non publiée de Doctorant de l'Université Montpellier I.
- Deschamps, T., Nourrit, D., Lauriot, B., Caillou, N., & Delignières, D. (soumis). The influence of intention on phase transition in a bimanual rhythmic task. *International Journal of Psychology*.
- Durand, M., Geoffroi, V., Varray, A., & Préfaut, C. (1994). Study of the energy correlates in the learning of a complex self-paced cyclical skill. *Human Movement Science*, **13**, 785-799.
- Feldenkrais, M. (1972). *Awareness through movement*. New York: Harper & Row.
- Fitts, P.M. (1964). Perceptual-motor skills learning. In A.W. Melton (Ed.), *Categories of human learning* (pp. 243-285). New York: Academic Press.
- Fitts, P.M., & Posner, M.I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Fontaine, R.J., Lee, T.D., & Swinnen, S.P. (1997). Learning a new bimanual coordination pattern: reciprocal influences of intrinsic and to-be learned patterns. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, **51**, 1-9.
- Forbus, K.D., Gentner, D., & Law, K. (1995). A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science*, **19**, 141-205.
- Fowler, C., & Turver, M.T. (1978). Skill acquisition: An event approach with special reference to searching for the optimum of a function of several variables. In G. Stelmach (Ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 1-40). NY: Academic Press.
- Gellevij, M., Van der Meij, H., De Jong, T., & Pieters, J. (2002). Multimodal versus unimodal instruction in a complex learning context. *The Journal of Experimental Education*, **70**, 215-239.
- Gentile, A.M. (1972). A working model of skill acquisition to teaching. *Quest*, **17**, 3-23.
- Gentner, D., Rattermann, M.J., & Forbus, K.D. (1993). The roles of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology*, **25**, 524-575.

- Gentner, D., Brem, S., Ferguson, R.W., Markman, A.B., Levidow, B.B., Wolff, P., & Forbus, K.D. (1997). Analogical reasoning and conceptual change: A case study of Johannes Kepler. *The Journal of the Learning Sciences*, **6**, 3-40.
- George, T.R., Feltz, D.L., & Chase, M.A. (1992). Effects of model similarity on self-efficacy and muscular endurance: A second look. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **14**, 237-248.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gould, D., & Weiss, M.R. (1981). The effects of model similarity and model talk on self-efficacy and muscular endurance. *Journal of Sport Psychology*, **3**, 17-29.
- 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.
- Hall, C. (1980). Imagery for movement. *Journal of Human Movement Studies*, **6**, 252-264.
- Hanrahan, C., & Salmela, J. (1986). Mental imagery as a facilitator in dance movement skills. In L.E. Unestahl (Ed.), *Contemporary Sport Psychology*. Orebro, Sweden: VEJE.
- Hanrahan, C., & Salmela, J. (1990). Dance Images: Do they really work or are we just imagining things? *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, **61**, 18-21.
- Hanrahan, C. (1992). *In search of a good image dance: Use of imagery while performing dance movement*. Thèse non publiée, Université de Montreal, Montreal.
- Hanrahan, C. (1994). In search of a good dance image. *Impulse*, **2**, 131-144.
- Hanrahan, C., Tetreau, B., & Sarrazin, C. (1995). Use of imagery while performing dance movement. *International Journal of Sport Psychology*, **26**, 413-430.
- Haken, H., Kelso, J.A.S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, **51**, 347-356.
- Hebert, E.P., & Landin, D. (1994). Effects of a learning model and augmented feedback in tennis skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **65**, 250-257.
- Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press.
- Hodges, N., & 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., & Franks, I.M. (2000). Attentional focusing instructions and coordination bias: Implications for learning a novel bimanual task. *Human Movement Science*, **19**, 843-867.

- Hodges, N.J., & Franks, I.M. (2001). Learning a coordination skill: Interactive effects of instruction and feedback. *Research Quarterly for exercise and Sport*, **72**, 132-142.
- Hodges, N.J., & Franks, I.M. (2002). Learning as a function of coordination bias: building upon pre-practice behaviours. *Human Movement Science*, **21**, 231-258.
- Housner, L.D. (1984). The role of imaginal processing in the retention of visually presented sequential motoric stimuli. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **55**, 24-31.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, **14**, 201-211.
- Kay, B.A., Kelso, J.A.S., Saltzman, E.L. & Schöner, G. (1987). Space-time behavior of single and bimanual rhythmic movements: Data and limit cycle model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **13**, 178-192.
- Kelso, J.A.S. (1977). Motor control mechanisms underlying human movement reproduction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **3**, 529-543.
- Kelso, J.A.S. (1981a). On the oscillatory basis of movement. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **18**, 63.
- Kelso, J.A.S. (1981b). Contrasting perspectives on order and regulation in movement. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp. 437-457). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Kelso, J.A.S., Holt, K.G., Rubin, P., & Kugler, P.N. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of nonlinear limit cycle oscillatory processes: Theory and data. *Journal of Motor Behavior*, **13**, 226-261.
- Kelso, J.A.S. (1984). Phase transition and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **15**, 1000-1004.
- Kelso, J.A.S., & Sholz, J.P., & Schöner, G. (1986). Nonequilibrium phase transitions in coordinated biological motion: Critical fluctuations. *Physics Letters A*, **118**, 279-284.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Kelso, J.A.S., & Zanone, P.G. (2002). Coordination dynamics of learning and transfer across different effector systems. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **4**, 776-797.
- Kozlowski, L.T., & Cutting, J.E. (1977). Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display. *Perception and Psychophysics*, **21**, 575-580.

- Kugler, P.N. (1986). Morphological perspectives on the origin and evolution of movement patterns. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 459-525). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Kurtz, K.J., Miao, C., & Gentner, D. (2001). Learning by analogical bootstrapping. *Journal of the Learning Sciences*, **10**, 417-446.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh*. New York: Basic Books.
- Laugier, C. (1995). Apprentissage par observation en danse: rôle des processus représentatifs dans la reproduction de mouvements. Thèse non publiée de l'Université Montpellier I.
- Laugier, C., & Cadopi, M. (1996). Representational guidance of dance performance in adult novices: Effect of concrete vs abstract movement. *International Journal of Sport Psychology*, **27**, 91-108.
- Lee, T.D., Blandin, Y., & Proteau, L. (1996). Effects of task instructions and oscillation frequency on bimanual coordination. *Psychological Research*, **59**, 100-106.
- Mac Cullagh, P., & Caird, J.K. (1990). Correct and learning models and the use of model knowledge of result in the acquisition and retention of a motor skill. *Journal of Human Movement Studies*, **18**, 107-116.
- MacCullagh, P., & Weiss, M.R. (2001). Modeling: Considerations for motor skill performance and psychological responses. In R.N. Singer, H. A. Hausenblas, & C. M. Janelle (Eds.), *Handbook of sport psychology* (2nd ed., pp. 205-238). New York: Wiley.
- Mac Newin, N.H., Wulf, G., & Carlson, C. (2000). Effects of attentional focus, self-control, and dyad training on motor learning: implications for physical rehabilitation. *Physical Therapy*, **80**, 373-385.
- Martens, R., Burwitz, L., & Zuckerman, J. (1976). Modeling effects on motor performance. *Research Quarterly*, **95**: 277-291.
- Mayer, R.E., & Gallini, J.K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, **82**, 715-726.
- Mayer, R.E. (1999). Designing instruction for constructivist learning. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models Volume II: A new paradigm of instructional theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Mayer, R.E., Moreno, R., Boir, M., & Vagge, S. (1999). Maximizing constructivist learning from multimedia communication by minimizing cognitive load. *Journal of Educational Psychology*, **91**, 638-643.
- Monno, A., Temprado, J.J., Zanone, P.G., & Laurent, M. (2002). The interplay of attention and bimanual coordination dynamics. *Acta Psychologica*, **110**, 187-211.
- Nersessian, N.J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R.N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 5-22). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Newell, K.M. (1974). Knowledge of results and motor learning. *Journal of Motor Behavior*, **6**, 235-244.
- Newell, K.M., Morris, L.R., & Scully, D.M. (1985). Augmented information and the acquisition of skill in physical activity. In R. Terjung (Ed.), *Exercise and sport science reviews* (Vol.13, pp. 235-261). New York: Macmillan.
- Newell, K.M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control*. Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff.
- Newell, K.M., & Van Emmerick, R.E.A. (1989). The acquisition of coordination: preliminary analysis of learning to write. *Human Movement Science*, **8**, 17-32.
- Newell, K.M., Kugler P.N., Van Emmerik, R.E.A., & McDonald, P.V. (1989). Search strategies and the acquisition of coordination. In S.A. Wallace (Eds). *Perspectives on the coordination of movement* (pp. 85-122). Amsterdam: North-Holland.
- Newell, K.M., Carlton, M.J., & Antoniou, A. (1990). The interaction of criterion and feedback information in learning a drawing task. *Journal of Motor Behavior*, **22**, 536-552.
- Newell, K.M., & van Emmerik, R.E.A. (1990). Are Gesell's developmental principles general principles for the acquisition of coordination? In: J.E. Clarke J.H. Humphrey (Eds.), *Advances in Motor Development*. AMS Press.
- Newell, K.M. (1991). Motor skill acquisition. *Annual Review of Psychology*, **42**, 213-237.
- Nourrit, D., Ruiz, C., Lauriot, B., Deschamps, T. Caillou, N., & Delignières, D. (1999). *L'effet de l'apport d'un feedback portant sur la variable collective pour l'apprentissage sur simulateur de ski*. Communication présentée au VIII<sup>o</sup> Congrès International des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Macolin, 31 Octobre-3 Novembre 1999.

- Nourrit, D., Lauriot, B., Deschamps, T., Caillou, N., & Delignières, D. (2000). The effects of required amplitude and practice on frequency stability and efficiency in a cyclical task. *Journal of Sport Sciences*, **18**, 1-12.
- Nourrit, D. (2000). *Etude de l'évolution des coordinations dans l'acquisition des habiletés complexes*. Thèse non publiée de l'Université Montpellier I.
- Nourrit, D., Delignières, D., Caillou, N., Deschamps, T., Lauriot, B. (sous presse). The dynamics of skill acquisition on a ski simulator. *Journal of Motor Behavior*.
- Overby, L.Y. (1990). The use of imagery by dance teachers: Development and implication of two research instruments. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, **2**, 24-27.
- Paillard, J. (1980). Nouveaux objectifs pour l'étude de la performance motrice intégrée: les niveaux de contrôle. In C.H. Nadeau, W.R. Haliwell, K.M. Roberts, & G.C. Roberts (Eds.), *Psychology of Motor Behavior and Sport*. Champaign: Human Kinetics.
- Paivio, A. (1985). Cognitive and motivational functions of imagery in human performance. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*, **10**, 22-28.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Reber, A.S. (1976). Implicit learning of synthetic languages: The role of instructional set. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, **2**, 88-94.
- Reber, A.S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, **118**, 219-235.
- Renaud, J. (1989). *Etude des effets de la répétition mentale de consignes de type analogique et de type descriptive dans l'exécution d'une habileté complexe en danse*. Mémoire de Maîtrise, Université de Québec, Montréal.
- Ruiz, C. (1999). *Effet de l'apport d'un feed-back portant sur la variable collective pour l'apprentissage sur simulateur de ski*. Mémoire de Maîtrise non publié de l'Université Montpellier I.
- Salmoni, A.W, Schmidt, R.A., & Walter, C.B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, **95**, 355-386.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor learning. *Psychological Review*, **82**, 225-260.
- Schmidt, R.A. (1982). The schema concept. In J.A.S. Kelso (Ed.), *Human motor behavior: An introduction* (pp. 219-235). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Schmidt, R.A. (1988). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (2nd edition). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R.A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.
- Schöner, G., Haken, H., & Kelso, J.A.S. (1986). A stochastic theory of phase transitions in human hand movement. *Biological Cybernetics*, **53**, 247-257.
- Schöner, G., and Kelso, J.A.S. (1988a). A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination: I. Relative phase dynamics. *Biological Cybernetics*, **58**, 71-80.
- Schöner, G., and Kelso, J.A.S. (1988b). A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination: II. Component oscillator dynamic. *Biological Cybernetics*, **58**, 81-89.
- Schöner, G. (1989). Learning and recall in a dynamic theory of coordination patterns. *Biological Cybernetics*, **62**, 39-54.
- Schöner, G. (1990a). Dynamic Theory of biological coordination: Phenomenological synergetics and behavioral information. In H. Shimizu (Ed.), *Biological complexity and information* (pp. 42-70), Singapore: World Scientific.
- Schöner, G. (1990b). A Dynamic Theory of Coordination of Discrete Movement. *Biological Cybernetics*, **63**, 257-270.
- Schöner, G., Zanone, P.G., & Kelso, J.A.S. (1992). Learning as change of coordination dynamics: Theory and experiment. *Journal of Motor Behavior*, **24**, 29-48.
- Scully, D.M., & Newell, K.M. (1985). Observational learning and the acquisition of motor skills: Toward a visual perception perspective. *Journal of Human Movement studies*, **11**, 169-186.
- Shea, C. H., Wulf, G., Park, J-H., Gaunt, B. (2001). Effects of an auditory model on the learning of relative and absolute timing. *Journal of Motor Behavior*, **33**, 127-138.
- Shea, C. H., Wright, D. L., Wulf, G., & Whitacre, C. (2000). Physical and observational practice afford unique learning opportunities. *Journal of Motor Behavior*, **32**, 27-36.
- Shea, C. H., Wulf, G., & Whitacre, C. (1999). Enhancing training efficiency and effectiveness through the use of dyad training. *Journal of Motor Behavior*, **31**, 119-125.
- Sheffield, F.N. (1961). Theoretical considerations in the learning of complex sequential tasks from demonstrations and practice. In A.A. Lumsdaine (Ed.) *Student response in programmed instruction* (pp. 13-32). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

- Sholz, J.P., & Kelso, J.A.S. (1989). A quantitative approach to understanding the formation and change of co-ordinated movement patterns. *Journal of Motor Behavior*, **21**, 122-144.
- 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.
- Smith, M., & Lee, C. (1992). Goal setting and performance in a novel coordination task: mediating mechanisms. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **14**, 169-176.
- Sweller, J. (1994). A cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, **4**, 295-312.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, **12**, 185-233.
- Swinnen, S.P., Walter, C.B., Serrien, D., & Vandendriessche, C. (1992). The effect of movement speed on upper-limb coupling strength. *Human Movement Science*, **11**, 615-636.
- Swinnen, S.P., Walter, C.B., Lee, T.D., & Serrien, D.J. (1993). Acquiring bimanual skills: Contrasting forms of information feedback for interlimb decoupling. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, **19**, 1328-1344.
- Swinnen, S.P. (1996). Information feedback for motor skill learning: A review. In H.N. Zelaznik (Ed.), *Advances in motor learning and control* (pp. 37-66). Human Kinetics Publishers: Champaign, IL.
- Swinnen, S.P., Lee, T.D., Verschueren, S., Serrien D.J., & Bogaerts, H. (1997). Interlimb coordination: Learning and transfer under different feedback conditions. *Human Movement Science*, **16**, 749-785.
- Swinnen, S.P., Dounskaia, S., Walter, C.B., & Serrien, D. (1997). Preferred and induced coordination modes during the acquisition of bimanual patterns with a 2:1 frequency ratio. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, **4**, 1087-1110.
- Temprado, J.J., Della-Grasta, M., Farrell, M., & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volley-ball serve. *Human Movement Science*, **16**, 653-676.
- Temprado, J.J., Zanone, P.G., Monno, A., & Laurent, M. (1999). Attentional load associated with performing and stabilizing preferred bimanual patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **25**, 1579-1594.

- Thomas, G.P., & Mac Robbie, C.J. (2001). Using a metaphor for learning to improve students' metacognition in the chemistry classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, **38**, 222-259.
- Tuller, B., & Kelso, J.A.S. (1989). Environmentally specified patterns of movement coordination in normal and split-brain subjects. *Experimental Brain Research*, **75**, 306-316.
- Turvey, M.T. (1974). A note on the relation between action and perception. In M.G. Wade, R. Martens (Eds.) *Psychology of Motor Behavior and Sport* (pp. 307-313). Champaign: Human Kinetics.
- Van der Meij, H., & Gellevis, M. (1998). Screen captures in software documentation. *Technical communication*, **45**, 529-543.
- Vereijken, B., & Whiting, H.T.A. (1989). In defence of discovery learning. In P.C.W. van Wieringen, & R.J. Bootsma (Eds.), *Catching up: selected essays of H.T.A. Whiting* (pp. 155-169). Amsterdam: Free University Press
- Vereijken, B., & Whiting, H.T.A. (1990). In defence of discovery learning. *Canadian Journal of Sport psychology*, **15**, 99-106.
- Vereijken, B. (1991). *The dynamics of skill acquisition*. Amsterdam: Free University Press.
- Vereijken, B., Whiting, H.T.A., & Beek, W.J. (1992). A dynamical systems approach to skill acquisition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **45A**, 323-344.
- Vereijken, B., Van Emmerick, R.E.A., Bongaardt, R., Beek, W.J., & Newell, K.M. (1997). Changing coordinative structures in complex skill acquisition. *Human Movement Science*, **16**, 823-844.
- Walter, C.B., & Swinnen, S.P. (1992). Adaptive tuning of interlimb attraction to facilitate bimanual decoupling. *Journal of Motor Behavior*, **24**, 95-104.
- Walter, C.B., Lee, T.D., & Sternad, D. (1998). Hot topics in motor control and learning: Introduction. The dynamic systems approach to motor control and learning: Promises, potential limitations, and future directions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **69**, 316-318.
- Weinberg, R., Bruya, L. & Jackson, A. (1990). Goal setting and competition: A reaction to Hall and Byrnes. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **12**, 92-97.
- Weinberg, R., Fowler, C., Jackson, A., Bagnall, J. & Bruya, L. (1991). Effect of goal difficulty on motor performance: a replication across tasks and subjects. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, **13**, 160-173.
- Wright, Wulf & Whitacre, 2000

- Wulf, G., & Weigelt, C. (1997). Instructions about physical principles in learning a complex motor skill: To tell or not to tell. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **68**, 362-367.
- Wulf, G., Höß, M., & Prinz, W. (1998). Instructions for motor learning : differential effects of internal vs. External focus of attention. *Journal of Motor Behavior*, **30**, 169-179.
- Wulf, G., Lauterbach, B., & Toole, T. (1999). The learning advantages of an external focus of attention in golf. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *70*, 120-126.
- Wulf, G., & Shea, C.H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, **9**, 185-211.
- Yamanishi, J., Kawato, M., & Suzuki, R. (1980). Two coupled oscillators as a model for the coordinated finger tapping by both hands. *Biological Cybernetics*, **37**, 219-225.
- Zaal, F.T.J.M., Bingham, G.P., Schmidt, R.C. (2000). Visual perception of mean relative phase and phase variability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **26**, 1209-1220.
- Zanone P.G., & Kelso, J.A.S. (1992). The evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transition. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, **18**, 403-421.
- Zanone, P.G., & Kelso, J.A.S. (1994). The coordination dynamics of learning: Theoretical structure and experimental agenda. In S.P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion, & P. Casaer (Eds.), *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 461-490). San Diego, CA: Academic Press.
- Zanone, P.G., & Kelso, J.A.S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: Collective and components levels. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, **23**, 1454-1480.