

Introduction
Motivation2
Objectifs de recherche2
Résumé des chapitres3
Hypothèses du travail5
Chapitre 5 "Effet de la vitesse, de couple, de la gravité, de la domination du bras, de l'instruction initiale lors sans objet (non sportive) des tâches« mouvements de rotation sensoriels"
Expérience 16
Expérience 26
Expérience 3
Chapitre 6 "Effet de précision exige:« maximiser la précision "dans les compétences athlétiques
Expérience 4
Expérience 58
Chapitre 7 "Effet de demandes de vitesse: Maximiser la vitesse en qualifications sportives" 8
Expérience 69
Chapitre 8 "Effet de demandes spatiales et vitesse: maximiser à la fois la précision et la vitesse dans les habiletés athlétiques»
Expérience 7
Expérience 8
Discussion générale

Introduction

Motivation

Le corps humain est soumis à un mouvement volontaire et non volontaire constant. Alors que les mouvements non volontaires ne sont pas contrôlés par le moteur cortex, les mouvements volontaires sont déclenchées par des axones, en cours d'exécution dans le tractus cortico de se connecter avec les neurones moteurs de la moelle épinière. Les mouvements volontaires prennent une grande quantité de dépense d'énergie dans la vie quotidienne et l'économie d'énergie par de légers changements dans le contrôle du mouvement pourrait être intéressante. Des mouvements comme prendre une tasse de café de la table, demande de la planification de trajectoire détaillée des extrémités, en tenant compte de la redondance possible de degrés de liberté (DOF) (Bernstein, 1967). De multiples théories face au phénomène de la planification de trajectoire, comme Latash (2008). Récemment, une nouvelle théorie a été proposée face à la résistance au changement tout objet physique en état de mouvement (Bernardin et al., 2005). Plus précisément, le principe de la résistance d'inertie minimum (MIR) étudie le rôle des axes de rotation minimale de commande du moteur (Isableu et al, 2009.); (Bernardin et al. 2005.); (Pagano et Turvey, 1995); (van de Langenberg et al. 2007; van de Langenberg et al, 2008).. Alors que le MIR a connu un succès en expliquant son rôle proprioceptif lors de tâches de pointage (Pagano et Turvey, 1995), son rôle n'a pas encore été clairement identifié au cours des mouvements 3D sans contrainte. Le modèle n'a pas encore été validé avec des données expérimentales mais il a été démontré théoriquement d'avoir une influence sur la dynamique inverse des extrémités supérieures (Isableu et al., 2009).

Objectifs de recherche

L'objectif général de cette thèse est de mettre au point des conditions expérimentales qui conduisent à valider le principe de la MIR et son rôle biomécanique lors de mouvements 3D sans contraintes et de proposer des méthodes qui permettront peutêtre de faciliter la planification de mouvement et de l'apprentissage. Il est clair que les modèles informatiques ont la possibilité de simuler les résultats des questions de recherche en biomécanique et le contrôle moteur au niveau inter-ou intra-cellulaire. Pourtant les modèles n'ont pas de «raison d'être» quand il n'est pas rigoureusement validé par des données expérimentales. Dans cette recherche, l'objectif est de valider ce modèle par des résultats expérimentaux et les données expérimentales ont été analysées en fonction de la question de recherche spécifique. Deuxièmement, les paramètres expérimentaux sont développés de montrer l'influence du principe de MIR au cours de la recherche fondamentale et appliquée. La recherche fondamentale a déjà montré, l'impact possible (Isabeu et a., 2009), mais seulement des expériences supplémentaires, y compris les mouvements 3D complexes avec différentes gammes de mouvement et de vitesse, peut valider la théorie. Comme un point final, les limites de l'expérimentation ainsi que le protocole de modélisation sont présentés dans le cadre de différentes stratégies du contrôle moteur, mais avec un accent particulier pour l'étude du principe du MIR.

Résumé des chapitres

La structure de cette thèse a été organisée pour répondre à la question essentielle lors de l'élaboration des études expérimentales pour valider une théorie de commande du moteur. L'objectif principal du chapitre 2 est de fournir une base de connaissances de travail qui servira de référence pour les expériences et les sujets abordés dans les chapitres restants. Le chapitre 2 discute des théories de commande de moteur et fournit des informations supplémentaires pour l'élaboration des questions de recherche expérimentale et la validation d'une théorie du contrôle moteur, notamment par l'application des calculs sur les divers mouvements multiarticulés des membres supérieurs. Des sujets tels que les théories de commande de moteurs sont controversée discutées et comparées avec le principe de la MIR proposée.

Le chapitre 3 traite des fonctions biomécaniques du modèle et fournit la base de calcul et une motivation supplémentaire pour développer des modèles plus détaillés et sophistiqués. Des sujets tels que le modèle de calcul et des études de validation ainsi que les techniques de traitement de données sont présentés. Le chapitre 3 examine également le développement et la validation d'un modèle spécifique du torse, bras,

avant-bras et la main. Dans cette thèse des modèles expérimentales sont élaborées et validés pour étudier la cinématique et la dynamique de la partie supérieure du corps et surtout le bras. Prédictions du couple articulaire ont été validés par comparaison directe à des calculs basés sur des mesures expérimentale à l'aide de données cinématiques d'un système de capture de mouvement en entrée.

Le chapitre 4 couvre un pont entre les connaissances théoriques aux expériences proposées dans le chapitre 5 à 8 et expose la formulation des hypothèses des différentes expériences. L'objectif principal est de fournir un leitmotiv, en fonction des résultats précédents et les résultats de chaque expérience menée. Bien que les résultats de chacune des études ont mis en lumière les hypothèses de recherche proposées précédemment, l'application des résultats acquis conduit automatiquement à d'autres hypothèses. Par conséquence, l'hypothèse de recherche initial a été testé contre une variété de changer les contraintes en utilisant des protocoles de recherche individuels.

Par la suite, le chapitre 5 présente trois études de recherche menées portant sur le sujet de «L'effet de la vitesse, de couple, de la gravité, dominance du bras, l'instruction initiale lors sans objet (non sportive) les tâches des mouvements de rotation« sensorielles ». Le chapitre 6 traite deux études expérimentales relatives à l'«Effet de précision exige:« précision maximisation "en habiletés athlétiques». Chapitre 7 abordera les questions de recherche concernant l'«Effet de demandes de vitesse: Maximiser la vitesse dans les compétences athlétiques. L'axe de rotation change pendant lancer bras cassé ". Après avoir évalué les effets des exigences de vitesse le chapitre 8, «L'effet des exigences spatiales et vitesse: Maximiser à la fois la précision et la vitesse dans mouvement athlétiques». Chaque étude suivra les directives d'un article de recherche étant subdivisé en introduction, méthodes, résultats et discussion / Conclusion.

Peu importe les hypothèses de recherche formulées et a introduit, à la suite de chaque étude, les principaux points et les hypothèses seront présentés et utilisés pour guider l'intérêt de la recherche pour la prochaine étude telle que proposée dans le leitmotiv.

Les conclusions tiré de ces études du chapitre 5 à 8 sont synthétisés, discutés et comparés à ceux de la littérature. Les différences entre les résultats actuels avec les théories de commande de moteur connexes sont signalées et l'implication clinique et physiologiques possibles de ces données sont discutés. Le chapitre 9 se termine par une discussion sur les enjeux suivant les théories spécifiques de contrôle de moteur et fait des recommandations dans le cadre des efforts futurs.

Enfin, le chapitre 10 résume la thèse entière en mettant en évidence les contributions importantes qui ont été faites à la commande du moteur sur le terrain avec une discussion sur les limites et les orientations futures de la recherche.

Hypothèses du travail

Suite à l'arrière-plan de commande du moteur théorique et le modèle biomécanique ce chapitre présentera les huit configurations expérimentales qui sont brièvement introduits avec les hypothèses de recherche respectifs. Les huit expériences divisé en quatre chapitres expérimentaux

Chapitre 5 "Effet de la vitesse, de couple, de la gravité, de la domination du bras, de l'instruction initiale lors sans objet (non sportive) des tâches« mouvements de rotation sensoriels"

Dans le premier chapitre expérimental, nous avons testé l'effet de la vitesse, sensoriel, couple gravité, la dominance du bras, de l'instruction initiale pendant les tâches mouvements de rotation non athlétiques sur le rôle de l'axes de résistance d'inertie minimum. Au total, trois protocoles expérimentaux ont été testés.

Nous avons supposé que les axes de rotation utilisés par les sujets allaient changer d'un axe d'articulation à un axe d'inertie que la vitesse des mouvements du bras augmenté, même si la position de départ initial a été imposée. C'est parce que des vitesses plus élevées et des accélérations amplifient les effets de l'inertie lors des

rotations de bras doit se produire hors de l'axe e_3 , en raison de la présence de grands produits inertiels (c.-à-d. résistance supérieure du bras pour être mis en rotation). Plus précisément, nous avons supposé qu'à une vitesse angulaire lente (S) de la rotation du bras doit spontanément coïncider avec l'axe articulaire géométrique SH-EL (étant donné que les effets de l'inertie restent faibles à des vitesses plus lentes et donnent des perturbations mécaniques minimum). Enfin, à une vitesse plus rapide angulaire (F) du bras doit être équilibré dynamiquement autour e_3 afin de minimiser à la fois les résistances d'inertie et le couple musculaire commune. Nous émettons l'hypothèse que les différences dans le contrôle de membres supérieurs sont dues à la dominance. La troisième hypothèse de ce chapitre est que les axes de rotation utilisés par les sujets allaient changer à partir d'un axe d'articulation à un axe d'inertie que l'influence de la gravité agissant sur le bras a été manipulé.

Expérience 1

Alors que les résultats des études précédents ont mis en lumière le contrôle des mouvements des membres supérieurs sans contrainte le premier protocole expérimental permettra de tester l'hypothèse si les instructions initiales peuvent avoir une influence sur le résultat et le changement des axes de rotation. La première étude mettra à l'épreuve la question de recherche si un changement dépendant de la vitesse de l'axe de rotation est un phénomène émergent (dans la théorie des systèmes dynamiques non linéaires), rapporté par (Isableu et al., 2009) indépendamment instructions initiales. Les instructions peuvent être considérées comme des contraintes supplémentaires qui peuvent réduire le nombre de solutions possibles dans la coordination de nos membres.

Expérience 2

Suite aux résultats de la première étude se pose la question si les contraintes initiales peuvent empêcher le bras non dominant à tourner autour d'un axe de rotation plus efficace alors l'épaule de l'axe du coude anatomique. En général, le bras non dominant est moins bien contrôlée (Sainburg et Kalakanis, 2000; Bagesteiro et Sainburg, 2002; Sainburg, 2002) par rapport au groupe dominant qui conduit à l'hypothèse que, dans une comparaison directe de la non-dominante montrera plus grande variabilité. Nous émettons l'hypothèse des comportements similaires pendant les tâches de rotation des

membres supérieurs, où le contrôle du bras lors de rotations internes-externes montrera plus grande variabilité de l'axe de rotation salariées et non pas même axe privilégié.

Expérience 3

La troisième étude porte sur l'expérience finale concernant cyclique rotations de bras internes-externes de mise en œuvre de l'idée que ce changement dépendant de la vitesse de l'axe de rotation vers e_3 doit être observée indépendamment des paramètres gravitationnels. Les séquences de rotation ont été réalisées, en changeant l'influence du couple de gravitation et l'hypothèse a été proposé que la vitesse de variation dépend d'axes de rotation vers la masse ou inertie axe (e_3) soit à découvert quelle que soit le couple gravitationnel et l'orientation posturale du bras. En outre, l'instruction initiale a été évitée et les conditions expérimentales initiales ont été reproduites comme dans l'article de (Isableu et al, 2009).

Chapitre 6 "Effet de précision exige:« maximiser la précision "dans les compétences athlétiques

Dans le deuxième chapitre expérimental, nous avons testé l'effet de la précision dans le lancer d'athlétisme sur le rôle du principe de la résistance d'inertie minimum. Deux protocoles expérimentaux ont été choisis pour évaluer le rôle de l'axe minimum de résistance à l'inertie d'une tâche de lancer de précision.

La première section de ce chapitre a abordé l'impact des instructions initiales et l'influence du couple de gravitation sur les rotations de bras internes-externes, la deuxième section poursuivre une tâche en fonction de précision. En d'autres termes, cette section évalue si la demande de lancer de précision provoque l'utilisation de l'axe tenseur d'inertie (axe de résistance à l'inertie minimum) au cours du mouvement. Depuis les premières tentatives expérimentales n'ont pas réussi à fournir la preuve d'un changement d'axes dues à grande vitesse, cette section mettra l'accent sur les mouvements qui incluent précision. Enfin, ce chapitre explore l'impact de l'expertise comparant novice à expert.

Nous émettons l'hypothèse que la stabilisation des axes de rotation par les sujets passerait de la stratégie de contrôle initial à un autre lorsque les distances de lancer et de hauteurs de cibles ont été modifiées et l'influence de la gravité agissant sur le bras changé. Modification de la distance de projection devrait modifier les profils de vitesse de la main, tandis que l'influence de la gravité devrait contribuer à l'accélération angulaire lors du lancer avec la gravité et la neutraliser en lançant contre la gravité.

Même si le lancer de fléchettes est un lent mouvement, la stabilisation **e**₃ devrait réduire à la fois les résistances d'inertie et le couple musculaire. Nous émettons l'hypothèse que les différences dans le contrôle des membres supérieurs sont dues à des compétences différentes.

Expérience 4

La quatrième étude évalue les différentes stratégies de contrôle lors d'une tâche de lancer de fléchettes. Différentes techniques de projection ont été observées et la stabilisation de l'axe e_3 a été montré pour changer la décomposition du couple favorisant la contribution de Mus au couple Net. En outre, la première étude explore l'influence de différentes hauteurs cibles et des distances sur le mouvement de lancer.

Expérience 5

La cinquième étude porte sur la comparaison entre les joueurs de fléchettes débutants et les athlètes de haute performance. En raison du niveau d'expertise, des stratégies de contrôle sont censés différer des novices à la tâche. Les conclusions de ce secteur, en effet montrent différentes stratégies de lutte, mais les stratégies individuelles inter semblent couvrir des stratégies de contrôle du moteur généralisables que la stabilisation d'e₃ pour réduire à la fois les résistances inertie et le couple musculaire commune.

Chapitre 7 "Effet de demandes de vitesse: Maximiser la vitesse en qualifications sportives".

Dans le troisième chapitre expérimental nous avons testé si les demandes de vitesse dans une tâche de lancer bras cassé sont maximisés lorsque l'axe de rotation du membre supérieur co $\ddot{}$ ncide avec l'axe e_3 . Un protocole expérimental a été choisi pour

évaluer le rôle de l'axe de la résistance d'inertie minimum pendant une tâche de lancer bras cassé pour maximiser le profil de vitesse.

Nous émettons l'hypothèse que la stabilisation des axes de rotation par les sujets allait changer de l'axe géométrique à un axe d'inertie pendant des phases de lancer qui ont un profil de vitesse élevée. Des vitesses plus élevées et des accélérations amplifient les effets de l'inertie. Par ailleurs, à une vitesse angulaire plus rapide du bras, le bras devrait équilibrer dynamiquement autour \mathbf{e}_3 afin de minimiser à la fois les résistances d'inertie et le couple musculaire commune.

Expérience 6

La sixième étude teste le principe du MIR à des contraintes de vitesse lors d'une tâche de lancer bras cassé. Les sujets ont été invités à lancer une balle aussi vite que possible sur une cible. Parmi les trois phases principales de lancer, il a été constaté que les sujets ont tendance à tourner son bras autour de l'axe e_3 pendant la phase d'armement. La phase d'armement est la préparation de la phase d'accélération et on peut noter que ce mouvement provoque une rotation autour de cet axe, propre à réduire au minimum l'effort et de mettre le coude dans la position de la dernière phase.

Chapitre 8 "Effet de demandes spatiales et vitesse: maximiser à la fois la précision et la vitesse dans les habiletés athlétiques».

Dans le quatrième et dernier chapitre expérimental, nous avons testé l'effet de la vitesse et de précision sur le rôle du principe de MIR. Deux protocoles expérimentaux ont été choisis pour évaluer le rôle de l'axe de la résistance d'inertie minimum lors d'une tâche d'interception et un service de tennis.

Nous émettons l'hypothèse que la stabilisation des axes de rotation par les sujets allait changer à partir d'un axe d'articulation à un axe d'inertie pendant les hauteurs d'interception et les profils de vitesse. Nous avons également émis l'hypothèse que la stabilisation de l'axe d'inertie serait invariante dans toutes les conditions expérimentales.

Par ailleurs, aux vitesses plus rapides du bras doit être équilibré dynamiquement autour **e**₃ afin de minimiser à la fois les résistances d'inertie et le couple musculaire commune.

Expérience 7

La septième étude est la première du quatrième chapitre expérimental et teste le principe du MIR contre la vitesse et les contraintes de précision lors d'un service de tennis. Les sujets ont été invités à effectuer un service de tennis. Les sujets étaient des athlètes de haute performance et le mouvement servent a été divisé en trois phases de mouvement distinctes.

Les résultats montrent que les sujets ont tendance à minimiser la variabilité angulaire des axes de rotation pendant la phase d'armement. Toutefois, en raison de la petite taille de l'échantillon pas de différences statistiques pourraient être découverts. Pour conclure, les sujets ont tendance à tourner autour d'un axe de compromis autour SH-CM et le SH- \mathbf{e}_3 pendant la phase d'armement.

Expérience 8

La huitième étude est aussi la dernière du quatrième chapitre expérimental et teste le principe du MIR contre la vitesse et les contraintes de précision lors de la tâche d'interception. Les sujets ont été invités à intercepter une balle, dans trois vitesses différentes et trois hauteurs d'interception. Fait intéressant, les résultats montrent que, par conséquent, les rotations au cours d'une hauteur d'interception spécifique sont réalisées autour de l'axe e_3 . Pour conclure, un changement de l'axe de rotation peut être observé pour des hauteurs d'interception spécifique indépendante de la vitesse. En d'autres termes, le changement d'axes de rotation dépend des contraintes de temps donnés. Rotation autour e_3 peut permettre à produire une accélération maximale de la main afin d'intercepter la balle dans une courte période de temps.

Discussion générale

La recherche décrite dans cette thèse a étudié le rôle de l'axe d'inertie minimal dans le contrôle kinesthésique des mouvements de rotation 3D. Les mouvements 3D étaient à

la fois des mouvements athlétiques ou des protocoles de recherche fondamentaux suivants tels que proposés par (Isableu et al., 2009).

Pagano et ses collègues (Garrett et al, 1998;. Pagano et Turvey, 1995; Pagano et al, 1996b;. Pagano, 2000; Pagano et Turvey, 1998; Riley et Turvey, 2001) d'abord présenté le rôle du tenseur d'inertie en tant que majeur invariant spatiale de perception égocentrique pendant le mouvement. Percevoir et contrôler la direction des membres supérieurs, sans repères visuels peut être limitée par des invariants liés à la distribution de masse comme le vecteur propre du tenseur d'inertie (Garrett et al, 1998;. Pagano et Turvey, 1995;. Pagano et al, 1996b; Pagano, 2000; Pagano et Turvey, 1998; Riley et Turvey, 2001).

Les conclusions de ces études sont encore limitées parce que l'évaluation systématique des différences entre le CM et e_3 n'a pas été effectuée. Cela a conduit à la conclusion que la perception et le contrôle des membres supérieurs pendant des mouvements mono et poly-articulé étaient principalement limités par le centre de masse. Les constatations et les conclusions doivent être revues parce que la contribution d' e_3 n'est pas pertinente car aucun rotations sont impliqués dans le mouvement (van de Langenberg et al., 2007). Un autre inconvénient dans les théories initiales, c'est le fait que les mouvements sont effectués à des vitesses faibles et pour percevoir l'effet d'inertie, de fortes accélérations de mouvement sont nécessaires. Cela a conduit à l'hypothèse que les fortes accélérations ou des fréquences de mouvement vont maximiser le rôle et la façon dont les paramètres inertiels sont perçus.

Dans ces limites, l'objectif principal de ce travail était d'améliorer la compréhension du rôle de l'axe d'inertie minimal dans le contrôle kinesthésique des mouvements 3D des tâches de rotation des bras non sportives et athlétiques.

Le rôle de l'**e**₃ a été étudiée dans le contexte de gestes non sportives comme pointage (Pagano et al, 1994;. Pagano et Turvey, 1995). Isableu et al. (2009) ont montré le rôle de l'axe de l'inertie minimale au cours des rotations de l'épaule cycliques à différentes fréquences de mouvement.

Les trois premières expériences ont suivi la première expérience et prometteur de Isableu, (2009) et ont examiné le rôle de l'e₃ lors des rotations de l'épaule externe-interne. Le dispositif expérimental permet de séparer les axes de rotation du bras naturellement sans l'utilisation des masses extérieures. Cependant, au cours des trois premières expériences de cette thèse aucun changement global des axes de rotation vers l'axe de la résistance d'inertie minimum n'a été observé. Les contraintes supplémentaires pour enquêter sur le principe de la MIR étaient multiples. Ni les conditions qui interviennent kinesthésique vs visuo-kinesthésique, ni l'évolution de la fréquence de mouvement ou le couple de gravité statique reproduire les mêmes résultats que proposé initialement. Les effets globaux sont généralement couverts par des stratégies interindividuelles. De grandes différences individuelles ont également été signalés dans des expériences passées enquête sur le rôle du tenseur d'inertie en pointant ou brandissant des tâches (Garrett et al, 1998.); (Kingma et al, 2004.); (Bernardin et al, 2005.); (Withagen et Michaels, 2005); (van de Langenberg et al, 2008).

Nous nous attendons à ce que les différences individuelles peuvent se manifester dans nos résultats en raison du fait que les sujets sont libres d'effectuer des rotations cycliques de leur bras coïncide avec les différents axes de rotation (SH-EL; SH-CM ou e₃). Des études antérieures ont montré que les sujets ne se comportent pas toujours en accord avec les paramètres physiques les plus appropriés (voir les tâches (Garrett et al, 1998);. (Bernardin et al, 2005);.(Bray et al, 2004) ;(Isableu et al, 2003;. Isableu et Vuillerme, 2006); (Withagen et Michaels, 2005).

La question se pose si les axes de rotation correspondants sont contrôlés mécaniquement ou si les axes de rotation sont un phénomène perception contraignant émergente et le contrôle des degrés de liberté lorsque la tâche exige augmentation? Plusieurs solutions ont été proposées au fil du temps et les CNS peuvent dépendre invariants tels que l'inertie de rotation, couples statiques ou invariants géométriques comme les angles des articulations. Le CNS doit identifier l'axe de rotation pertinente qui permet la coordination motrice d'être adaptatif et compétents dans les tâches

exigeantes (Darling et Hondzinski, 1999; Worringham et Stelmach, 1985; Soechting, 1982; Pagano et Turvey, 1998; Pagano et Turvey, 1995).

Il semble que les participants de ces trois études ont choisi des solutions individuelles pour réussir. Suite à cette pensée, l'une des hypothèses de départ est que seule la forte accélération maximiser le rôle et la façon les inerties sont perçues. Nous avons constaté que les exigences de vitesse devraient conduire tous les sujets vers un axe de rotation qui minimise les résistances de rotation qui a également une conséquence sur la contribution de sur les couple du système.

Ainsi, le choix a un impact significatif sur la maîtrise de la coordination motrice. Il est encore en discussion si le SNC contrôle des mouvements comme la conséquence d'une interaction entre la mécanique des membres et des commandes de moteur (Flanagan et Lolley, 2001); (van de Langenberg et al, 2007;. Van de Langenberg et al, 2008.) Ou si le CNS compense prédictive pour la perte de stabilité due à des effets mécaniques de couple d'interaction (INT) (Dounskaia et al, 2002;. Dounskaia et al, 2005)., (Goble et al, 2007.); (Hirashima et al. 2003a; Hirashima et al, 2007b)..

Au cours des expériences impliquant des profils d'accélération élevées que dans le lancer bras cassé et le service de tennis les effets mécaniques des mouvements sont très importants. Lancer en général est une tâche liée à un objectif et la vitesse et profils cinématiques change respectivement (Hore et al, 1996.); (Smeets et al, 2002.) et peut également apporter de nouveaux éclairages sur la façon dont le système nerveux central coordonne plusieurs degrés de liberté que dans le contrôle de lancer et de frapper actions.

Les deux expériences impliquent de grandes rotations interne-externe de l'épaule comme indiqué précédemment dans l'expérience initiale de Isableu (2009) et que la phase d'armement est assez similaire à l'expérience présentée à un compromis entre les CM et les axes \mathbf{e}_3 a été jugée la stratégie de contrôle préféré. La phase d'armement est cruciale et le but de cette phase est de déplacer le coude vers l'avant avec une

rotation maximale de l'épaule externe pour lancer la phase d'accélération pour lancer la balle. Des résultats similaires ont été trouvés pour le service de tennis et il semble que le principe MIR régit lors des phases spécifiques des mouvements à grande vitesse qui impliquent de grandes rotations de l'épaule. Grandes rotations de l'épaule se produisent également lors de tâches d'interception spontanées. Suivant la même idée de l'expérience d'interception toutefois limité le mouvement de tout le corps d'imposer des contraintes supplémentaires sur les sujets.

Les participants de l'étude ont été invités à intercepter une balle latéralement à trois hauteurs différentes et trois vitesses. Le choix des axes de rotation au cours de la hauteur moyenne et basse n'a pas été affecté par la vitesse de la balle et les rotations ont également été réalisées autour d'un axe compromis entre la CM et e_3 . Une exploitation de cet axe pourrait s'expliquer par les profils de vitesse du mouvement et de réduire les produits d'inertie peut être la meilleure stratégie de contrôle pour intercepter une balle avec succès. Cependant, l'interception de la balle dans la condition haute, les sujets ont tendance à ne pas suivre un axe spécifique, mais montrer des stratégies individuels comme dans les trois premières expériences.

Les résultats sont très prometteurs mais en même temps elles doivent être exploitées avec soin. Est-ce que la perception du centre de masse (van de Langenberg et al, 2007) ou le tenseur d'inertie (Pagano et Turvey, 1995); (Solomon et Turvey, 1988;. Turvey et al, 1989) (Pellionisz, 1985) sont responsable de cette stratégie de contrôle spécifique ou est-ce que les mouvements contraignants déjà les solutions possibles?

N'aurait-il pas également possible que les mouvements contraignent les participants à une telle façon qu'ils sont obligés de suivre des stratégies spécifiques? Jusqu'à présent, le principe de l'auto-organisation ne peut pas être exclu dans les explications possibles. En mécanique, les rotations autour de l'axe de la résistance d'inertie minimum sont très efficaces et dans le contrôle moteur de la théorie du tenseur d'inertie affirme que le CNS extrait des informations à partir des vecteurs géométriques et tenseurs, mais aussi la forme, la longueur, le poids et la répartition du poids pour recueillir des informations

haptique d'une objet ou même un membre (Burton et al, 1990.); (Pagano et al, 1993.); (Turvey et al, 1989;. Solomon et Turvey, 1988; Kingma et al, 2000.).

Aussi certaines théories de contrôle peuvent dépendre du niveau de compétence du sujet (Isableu et al., 2009) ou même sur l'anthropométrie (Chiari et al., 2002). Cependant, pendant la tâche de fléchette, pas de différences pourraient être découverts entre novices et les 'experts. Au cours de deux expériences de fléchettes les sujets semblent stabiliser l'axe SH-EL pour améliorer les résultats de lancer. L'exploitation de l'axe SH-EL a été montrée pour réduire les effets mécaniques du couple d'interaction à des vitesses plus élevées, en changeant la contribution du couple musculaire au couple net. Par ailleurs, la forte contribution du couple musculaire au couple d'interaction modifie la mise à l'échelle appropriée de couple articulaires et musculaires du traitement des entrées proprioceptives (Ebaugh et al, 2006b;.. Ebaugh et al, 2006a). Cependant, l'exploitation des axes de rotation spécifiques peut être non seulement en raison de la proprioception, mais pour les cadres de références utilisées par chaque sujet. Le choix des cadres de référence est une tâche dépendante mais surtout dépendant de la préférence des sujets. McIntyre et al. (1998) ont montré les différentes trames utilisation de référence lors de tâches visant. Dans des tâches de pointage la réglementation de l'angle de l'épaule est interprétée comme un cadre de référence (Soechting et la Flandre, 1989). La main peut aussi devenir un cadre de référence, même la cible ellemême (Soechting et la Flandre, 1992). Asch et Witkin (1948), ont montré l'existence d'une forte variabilité interindividuelle lors de l'exploitation de l'information visuelle. La question de la variabilité interindividuelle est largement soulignée dans la littérature, en particulier au cours de l'orientation spatiale (Isableu et al, 1998), pointage (Adamovich et al, 1998.) et les tâches du contrôle postural (Amblard et Crémieux, 1976; Isableu et al., 1997); (Guerraz et al, 2000)...

Tout au long des expériences, le principe de MIR n'a pas démontré sa généralisation et aussi longtemps que pas d'autres expériences montrent son applicabilité, le principe doit être utilisé avec précaution.