

Prévenir les troubles de la cognition spatiale chez l'enfant atteint d'IMC : Apports de la biomécanique du mouvement.

Marc Zabalía, Anne-Céline Soul et Jérôme Koral

Pôle Modélisation en Sciences Cognitives

Maison de la Recherche en Sciences Humaines

Université de Caen Basse-Normandie

Esplanade de la Paix

14032 CAEN cedex

zabalía@mrsh.unicaen.fr

Résumé

Puisque l'infirmité Motrice Cérébrale est la conséquence d'une lésion qui survient à un moment où le système cérébral n'a pas achevé sa maturation, on ne peut pas en prévoir les conséquences sur le développement moteur du sujet et encore moins sur son développement psychologique.

De fait, les orientations théoriques en biomécanique du mouvement sont pertinentes pour modéliser la motricité des enfants atteints d'IMC, plutôt que les approches de neurosciences dans lesquelles le mouvement est le produit d'une programmation du système nerveux central.

L'objectif de cet article est de présenter une orientation de recherche originale visant à explorer la nature du lien qui existe entre la qualité de la production du geste et des troubles de l'organisation spatiale. Si ce rapport se confirme nous pourrions agir de façon préventive chez le jeune enfant atteint d'IMC en repérant précocement des patterns moteurs caractéristiques et envisager des prises en charge orientées vers l'accompagnement et l'étayage de l'expérience motrice.

Mots clés : Infirmité Motrice Cérébrale, cognition spatiale, biomécanique du mouvement.

Summary: The prevention of spatial cognition disorders in the child with cerebral palsy: Contributions of the biomechanic of the movement.

Because the lesion occurs when the cerebral system did not complete its maturation, one cannot envisage the consequence of a Cerebral Palsy on the motor development nor on the psychological development.

To succeed in the modelization of the motricity of children with Cerebral Palsy, the theoretical approaches of the biomechanic of movement are relevant rather than approaches of neurosciences in which the movement is the product of a central programming.

The aim of the paper is to show an original way of work for the investigation of the nature of the link which exists between the quality of the gesture production and the space organization disorders. If this link is confirmed we will be able to care in a preventive way in young children with Cerebral Palsy. It will be possible to identify precociously the motor patterns and to consider the accompaniment and the shoring of the motor experience.

Key words : Cerebral Palsy, spatial cognition, biomechanic of movement.

Introduction

L'Infirmité Motrice Cérébrale (IMC)

Cette déficience motrice est définie par des atteintes précoces du système nerveux central, atteintes périnatales qui affectent l'activité tonico-posturale, motrice et locomotrice de l'enfant puis de l'adulte. L'IMC joue donc sur l'expérience motrice à tous les niveaux du développement. Elle s'exprime par plusieurs types de troubles neuromoteurs. La spasticité qui se manifeste par une raideur musculaire par absence de coordination des groupes musculaires antagonistes, l'athétose (dyskinésie) qui parasite l'activité par des mouvements lents, désordonnés et involontaires avec hypotonie des muscles du tronc et l'ataxie qui se manifeste principalement par des troubles de l'équilibre et de coordination des mouvements. Ces troubles existent rarement à l'état pur et l'importance des restrictions motrices dont souffre le sujet dépend aussi de la localisation de l'atteinte. Les personnes atteintes d'IMC peuvent présenter de nombreux troubles associés, conséquences de l'altération des voies motrices (troubles oculomoteurs, de la parole) mais aussi des troubles épileptiques.

La lésion, qui survient à un moment où le système cérébral n'a pas achevé sa maturation, est de taille et de profondeur variable. C'est ce qui explique que son importance n'est pas corrélée à la gravité du tableau clinique. Le scanner ou l'IRMf permettent aujourd'hui la mise en évidence des zones lésées, mais elles ne peuvent pas prédire les modalités de récupération. Les résultats parfois cohérents montrent l'existence de relations anatomo-cliniques (lésions des noyaux gris centraux avec atteinte extra-pyramidale ou leucomalacies des régions pariéto-occipitales orientant précocement vers le risque de déficits perceptifs visuels et secondairement de dyspraxies visuo-spatiales). Toutefois, des lésions cérébrales bilatérales ont une expression clinique unilatérale, des lésions uni ou bilatérales peuvent n'avoir que peu ou pas de traduction dans le tableau clinique. Il arrive que des examens ne montrent pas d'anomalie significative, en complet décalage avec une clinique lourde. On ne peut donc pas a priori prévoir les conséquences de la lésion sur le développement moteur du sujet et encore moins sur son développement psychologique.

De nombreuses orientations théoriques en psychologie cognitive envisagent l'existence d'un double système de représentation, l'un analogique, imagé et holistique, l'autre propositionnel, analytique et abstrait, pour une revue voir Lautrey et Chartier (1987). Nous avons conduit une série d'études comparatives d'enfants atteints d'IMC et d'enfants valides afin d'interroger l'évocabilité des deux systèmes de représentations

spatiales. A l'aide de tâches d'imagerie mentale classiques sollicitant un système de traitement analogique ou bien un système de traitement propositionnel, nous avons mis en évidence que les enfants IMC maîtrisent et utilisent une représentation imagée de type analogique dans une situation spatiale complexe de rotation mentale. A l'inverse, les performances sont faibles lorsque la tâche consiste décomposer mentalement un mouvement pour le reconstruire (Zabalia, 1999 ; Zabalia et Mellier, 1996).

Les résultats des enfants IMC dans ces situations mobilisant la cognition spatiale permettent d'envisager de façon différenciée le rôle de la motricité dans la construction de ces deux types de représentations. Il semble que le développement d'une représentation imagée de type analogique, globale et indifférenciée s'appuie sur la coordination progressive des mouvements et des déplacements (Zabalia, 2000). Les situations qui permettent aux enfants IMC d'accéder, de maîtriser et d'intégrer les notions spatiales sont bien évidemment moins nombreuses et expérimentées de façon moins active. Elles leur offrent néanmoins les éléments nécessaires à la construction de représentations imagées analogiques. Les enfants IMC investissent fortement des représentations imagées analogiques construites sur la base d'expériences motrices engageant le corps dans son ensemble. Cependant leurs limitations motrices contrarient la construction de représentations analytiques, séquentielles. Elles sont construites par intériorisation des manipulations motrices et de leur coordination mais les restrictions motrices limitent la manipulation d'objets, la coordination d'actions, l'imitation motrice, toutes sortes d'actions intériorisables et réversibles à l'origine d'opérations mentales.

Néanmoins, la spécificité des enfants atteints d'IMC ne peut se réduire à la distinction entre la motricité globale et les coordinations motrices fines. Il s'avère que les perturbations cognitives et notamment spatiales sont parfois plus importantes chez des sujets dont la motricité est peu atteinte. C'est ce qui nous oriente vers une tentative de modélisation de la motricité de ces enfants.

La modélisation de l'activité motrice :

Les recherches contemporaines sur la motricité se situent dans deux grands courants théoriques. Le premier met l'accent sur la notion de programmation du mouvement et de schéma moteur qui permet d'anticiper les conséquences du mouvement à accomplir. Cette approche cognitive présuppose une dissociation fonctionnelle entre la perception et l'action. Le système de contrôle moteur est considéré comme ayant un rôle

de prescripteur et d'exécuteur de séquences d'actions nécessaires pour atteindre un but. Ces séquences d'action ayant été élaborées temporairement ou stockées au niveau du système nerveux central (voir pour revue, Schmidt, 1993 ; Berthoz, 1997).

En revanche, le second courant met l'accent sur le couplage entre la perception et l'action. Elles sont issues de la mise en relation des conceptions de Gibson (1979) et de celles de Bernstein (1967). Ces approches intègrent les contraintes biomécaniques dans leur modélisation et utilisent les principes de la dynamique des systèmes non linéaires. Les patrons de réponse étant alors conçus comme une propriété émergente de la dynamique de ces systèmes. Ces approches considèrent le mouvement comme le résultat d'un couplage entre un nombre limité de patrons d'action et les contraintes environnementales, agissant sur un assemblage de composantes biomécaniques qui constitue la contrainte intrinsèque.

Les contraintes qu'un sujet peut effectuer sur les divers composants de son système d'action pour les faire fonctionner en synergie ont été conçues selon deux perspectives : l'une avec la notion d'*affordance*, issue de l'approche écologique et l'autre avec celle de *dynamique de coordination auto-organisée*, issue de l'approche dynamique. Le développement de l'approche dynamique des coordinations motrices a permis de mettre en évidence les propriétés d'auto-organisation du système neuro-musculo-squelettique et les phénomènes dynamiques associés à la production de mouvement coordonnés (Temprado et Montagne, 2001). C'est dans ce champ conceptuel que se situent les travaux sur la *Configuration de Référence*.

1. Le concept de « Configuration de Référence »

L'approche biomécanique de la production du mouvement repose sur l'hypothèse de l'existence d'un point d'équilibre et de sa réactualisation par l'introduction du concept de *configuration de référence* (Feldman et al., 1999).

Puisque le corps est une chaîne dynamique et pluri-articulaire, les forces générées autour d'une articulation influencent nécessairement les autres articulations. De plus, les différentes articulations présentent un très grand nombre de degrés liberté redondants proposant un vaste choix de combinaisons de variations angulaires permettant d'atteindre le même but. Pour expliquer la manière dont le système nerveux central réduit le nombre de degré de liberté qu'il doit contrôler, Bernstein (1967) a formulé, dans sa Théorie de la Physiologie de l'Activité, l'idée qu'il existe une relation ambiguë entre les signaux de commande centrale et la sortie motrice dans les systèmes naturels dotés d'une multitude de degrés de liberté. Selon lui, le problème essentiel est celui de la coordination qui permet de

diminuer le nombre de degrés de liberté. Ainsi une activité motrice complexe peut obéir aux mêmes principes qui régissent le contrôle des mouvements simples. Cette coordination permet de maîtriser les degrés de liberté redondants en établissant des contraintes nerveuses qui se superposent aux contraintes mécaniques liés à la géométrie du squelette.

A partir de l'étude de l'adaptation des mécanismes sensori-moteurs en microgravité au cours des vols spatiaux, Lestienne et ses collaborateurs ont mis en évidence deux niveaux d'adaptation de la régulation posturale en microgravité responsables de l'adaptation lente et de l'adaptation rapide (Lestienne et al., 1995).

Le premier niveau correspond au système conservatif. C'est un système de références, stable par définition, organisé sur la base du schéma corporel. Ce système de références permettrait d'évaluer les conséquences d'une action future et de prédire ainsi les discordances spatio-temporelles éventuelles entre le but à atteindre et l'événement à venir ainsi que sa réalisation.

Le second niveau correspond au système opératif, étage d'exécution qui sélectionne les commandes motrices et, si nécessaire, les corrige rapidement à partir des informations issues du monde extérieur. Ce système opératif serait donc l'expression de réseaux neuronaux adaptatifs construits par l'entraînement qui correspondrait à une courte phase d'apprentissage par rapport à celle qui a été nécessaire pour élaborer le schéma corporel. Pour Lestienne et Gurfinkel (1988) le schéma corporel est caractérisé par une organisation structurale innée du corps, c'est-à-dire un seul et même type morphologique constitué de deux extrémité (haut-bas), de deux faces (ventral-dorsal), d'un axe longitudinal créant une symétrie (gauche-droite). De cette organisation structurale de base dépend la représentation géométrique du corps ; un système de références connecté au système vestibulaire, au système visuel et proprioceptif ; une organisation sensorielle que l'on peut apparenter à une enveloppe sensorielle qui s'est constituée à partir des mouvements actifs et de l'expérience quotidienne.

Dans le concept de schéma corporel, le cerveau contient un modèle interne représentatif des caractéristiques et grandeurs biomécaniques du corps dont la longueur des segments corporels mais aussi la géométrie articulaire.

Le concept de *Configuration de Référence* s'inspire de la notion de schéma corporel. Le système nerveux central produit un mouvement actif en spécifiant un changement de la configuration de référence. Il en résulte que les patrons d'activité électromyographique ne sont pas programmés par le système nerveux central mais sont une propriété émergente de l'interaction dynamique entre les signaux de commande centrale,

les réflexes et les composantes biomécaniques du système incluant les forces extérieures telle que la gravité.

C'est donc une conception théorique extrêmement pertinente pour analyser les caractéristiques motrices des enfants atteints d'IMC. Ils ont en effet une conscience de la structure corporelle particulière et notamment de l'axe corporel qui dépend d'un équilibre sensori-tonique entre les deux hémicorps stabilisant le tronc. Le système de références risque d'être instable compte tenu de l'absence de coordinations visuo-manuelles et tactilo-kinesthésiques. Enfin, l'enveloppe sensorielle s'organise de manière globale et confuse car elle est le reflet du corps éprouvé. C'est la raison pour laquelle la qualité de la motricité des enfants IMC est si importante. Non pas la motricité en terme de degrés ou de pourcentages d'incapacités, mais la qualité du projet moteur, voire du contexte moteur ; ce que la biomécanique a conceptualisé en terme de configuration de référence.

2. Approche biomécanique de la production du mouvement :

Le modèle a rendu compte de deux types de recrutement spatio-temporel des muscles agonistes et antagonistes, le recrutement réciproque (R) et la co-activation (C). Dans le premier cas, un changement du recrutement réciproque (R) déplace le point d'équilibre. Dans le second cas, la rigidité de l'articulation augmente avec l'intensité de la co-activation (C). La commande R assure le mouvement et la co-activation C assure le maintien postural (figure 1).

Placer ici la Figure 1

Tous les degrés de liberté du corps sont sous le contrôle d'un recrutement réciproque (R) spécifique, il existe donc une configuration de référence (R) et une configuration actuelle du corps (Q). La configuration de référence est la configuration du corps pour laquelle les seuils d'activation de tous les muscles sont atteints simultanément. Elle correspond à un minimum global d'activité musculaire qui a lieu quand $R=Q$ (figure 1). En revanche quand R est différent de Q l'activité musculaire se manifeste. Le mouvement prend fin quand les forces externes et les forces musculaires atteignent une configuration d'équilibre qui est généralement différente de R du fait de l'environnement gravitaire et des forces passives du système musculo-squelettique. La condition $R=Q$ qui correspond au minimum global d'activité musculaire ne peut se vérifier du fait de l'existence de forces externes incluant la gravité. En revanche, dans les mouvements réversibles (tel que aller-retour du bras, mouvement circulaire de la tête) il existe un point

pour lequel $R=Q$. Il a été montré l'existence d'un minimum global d'activité qui se manifeste peu avant la phase de retour à la position initiale (Lestienne et Feldman, 2001).

La configuration de référence (R) peut être considérée comme une image géométrique virtuelle du corps avec laquelle la configuration actuelle (Q) est comparée. Si les muscles sont silencieux lorsque la configuration de référence est atteinte, ils s'activent pour s'opposer aux forces résistantes résultant de toute déviation du corps par rapport à la configuration de référence (R).

3. Motricité et cognition spatiale :

La représentation est non seulement une simplification de l'objet, mais cette simplification est variable, et c'est là son pouvoir. Elle substitue des symboles à l'objet permettant alors de manipuler le réel. L'image simplifie l'objet, car elle le représente dans son ensemble. C'est, nous dit Wallon (1941), l'équivalent de son exploration. C'est en cela que l'on accorde une origine motrice à l'image mentale (Piaget et Inhelder, 1966). Dans le domaine spatial, la forme de l'image et son contenu sont homogènes c'est donc le format de représentation qui tend à un isomorphisme réel avec le contenu représenté. C'est aussi ce que nous ont montré les études de psychologie cognitive et les travaux de neuroimagerie fonctionnelle portant sur les propriétés des images mentales et du processus de rotation d'images mentales (Shepard et Metzler, 1971 ; Kosslyn, 1973 ; Kosslyn et al., 1978, Kosslyn, 1994).

Les modèles de la cognition spatiale, et notamment de l'imagerie mentale, reconsidèrent le rôle de la motricité dans l'imagerie et lui accordent une fonction de guidage des images de transformations spatiales (Kosslyn, 1994). A son origine, la perspective développée par Kosslyn est essentiellement computationnelle (Kosslyn, 1980). Kosslyn réintroduit le rôle de la motricité dans les images de transformations se rapprochant manifestement de la perspective piagétienne. En effet, il avance que le système moteur jouerait un rôle prépondérant dans les transformations d'images en guidant la transformation elle-même. On est au cœur du point de vue piagétien dans le sens où l'image mentale ne devient fonctionnelle que guidée par des actions antérieures intériorisées c'est-à-dire les opérations.

Récemment, il a été montré que la sensibilité proprioceptive constitue une entrée sensorielle majeure pour la représentation du corps dans l'espace (Shenton, Schwoebel et Coslett, 2004). Stevens (2005) considère que les images visuelles et les images de mouvements ont un rôle distinct, bien que ces processus coopèrent quand l'action

représentée est coordonnée dans l'espace. La distinction de ces processus est argumentée par la mise en évidence d'interférences provoquées par les caractéristiques biomécaniques du corps dans la représentation de mouvements. Pour Stevens (ibid.), il existe une relation dynamique entre les caractéristiques de l'individu (la posture par exemple), celles du mouvement et celles de l'environnement dans la génération et la manipulation de représentations du corps dans l'espace.

Le concept de configuration de référence semble être un bon indice permettant de caractériser ou d'estimer la qualité du projet moteur du sujet. Dans cette étude exploratoire, nous avons fait l'hypothèse que la présence d'un minimum global d'activité musculaire lors de mouvements réversibles chez des enfants IMC serait le témoin de la qualité du projet moteur. Si cette première hypothèse est vérifiée, le minimum global d'activité musculaire devrait rendre compte de l'importance des troubles de l'organisation spatiale.

Méthode

1. Population

La population de l'étude est constituée de 5 enfants atteints d'IMC de 10 ans 4 mois d'âge moyen (de 8 ans à 12 ans et demi). Tous sont nés prématurés à 31 semaines d'âge gestationnel moyen (de 29 à 32 semaines) et leur poids moyen de naissance est de 1480g (de 1250g à 1600g). Deux d'entre eux souffrent de diplégie spastique (sujets C et A), deux de quadriplégie spastique (sujets K et T), et un d'hémiplégie spastique droite (sujet O).

2. Procédure

Pour évaluer la présence et l'importance du minimum global d'activité motrice lors de mouvements réversibles du bras, les 5 enfants ont à déplacer un objet sur un support en mouvements d'aller-retour. Les enregistrements électromyographiques du bras et du tronc couplés à la vidéo permettent de distinguer les plans de coopérations musculaires, des patterns de co-activation et la présence d'un minimum global d'activité musculaire au cours du mouvement réversible. La figure 2 indique les muscles enregistrés par électrode de surface.

Placer ici la Figure 2

Les signaux d'électromyographie sont enregistrés, la figure 3 présente un enregistrement pour lequel les mouvements d'aller-retour sont symbolisés sur le graphique. Les signaux font apparaître la présence d'un minimum global d'activité musculaire (MGAM) au moment de la réversibilité du mouvement (figure 3).

Placer ici la Figure 3

Pour chaque sujet, nous pouvons évaluer la présence d'un minimum global d'activité musculaire au moment de la réversibilité du mouvement et l'importance des co-contractions. Cette évaluation est une « image » de la configuration de référence, donc de la « qualité » du projet moteur. L'indice MGAM est le rapport entre le nombre de MGAM sur le nombre total de mouvements, il est donc de 1 chez un sujet valide qui effectue un mouvement réversible.

Les troubles de l'orientation spatiale sont évalués à l'aide d'une épreuve de localisation de sites topographiques (Laurendeau et Pinard, 1968) que nous avons par ailleurs déjà utilisée avec des enfants atteints d'IMC (Zabalia, 2002 ; Zabalia et Mellier, 1996). Cette épreuve présente l'avantage d'évaluer de façon différenciée deux niveaux d'intégration des données spatiales qui ne sont pas touchées de la même manière chez les enfants IMC (Zabalia et Mellier, 1996). La première partie de l'épreuve évalue la maîtrise des rapports spatiaux topologiques (voisinage, contiguïté, enveloppement) alors que la seconde nécessite la maîtrise des relations spatiales projectives.

La tâche de localisation spatiale consiste pour l'enfant à placer une figurine dans un paysage au même endroit que celle de l'expérimentateur. Dans la première partie de l'épreuve les deux paysages sont côte à côte, orientés à l'identique, dans la seconde partie, le paysage de l'expérimentateur subit une rotation de 180°, que l'on fait remarquer à l'enfant. La figurine doit être placée dans douze positions successives de difficultés inégales. Le matériel se compose de deux plateaux (37 x 47 cm) sur lesquels sont disposées cinq maisons faciles à distinguer par leur taille et leur couleur. Une route et une voie ferrée se croisent au centre divisant le paysage en quatre secteurs.

Résultats

On note sur la figure 4 ci-dessous que les EMG des 3 premiers sujets ne permettent pas de distinguer les patrons d'activité musculaire. Il n'existe pas de minima globaux d'activité musculaire correspondant à la réversibilité du mouvement. On peut parfois repérer une diminution de l'activation entre chaque mouvement mais les muscles restent très toniques (par exemple triceps brachial du sujet C). Chez le sujet C, on remarque également l'importance des co-contractions signalant l'engagement du corps dans la dimension « réversible » du mouvement.

Chez le sujet O, on observe des bouffées d'activation du biceps et du triceps brachiaux en co-contraction mais correspondant aux différents mouvements. Chez le sujet T, on distingue plus clairement les mouvements sur l'EMG du long supinateur. Chez les

deux sujets suivants, il y a des activations correspondant aux mouvements et la présence des minima globaux d'activité au moment de la réversibilité. Même si l'EMG du sujet A, montre une co-contraction globale des 5 muscles liée à la rigidité propre à l'IMC, on distingue clairement les patrons d'activation correspondant à chaque mouvement réversible.

Placer ici la Figure 4

Grâce aux signaux EMG, on peut calculer un indice de Minimum Global d'Activité Musculaire (MGAM) pour chacun des sujets (graphique 1). Il s'agit simplement d'un rapport entre le nombre de minima globaux d'activité musculaire et le nombre de mouvement réversible effectués.

Placer ici le Graphique 1

Les résultats à l'épreuve de localisation spatiale sont classiques pour des enfants atteints d'IMC (graphique 2). Compte tenu de leur âge, les enfants montrent des scores modestes quant à la maîtrise des relations spatiales topologiques, c'est-à-dire les relations spatiales simples de positionnement. On remarque qu'à la seconde partie de l'épreuve qui elle requiert en plus la manipulation mentale d'un espace projectif, les enfants obtiennent des scores équivalents. Il y a un effet plateau correspondant à environ 50% de réussites. On ne peut pas pour autant évoquer un effet du hasard puisque tous les items échoués sont ceux qui font appel à la coordination de plusieurs relations spatiales (items qui ne peuvent être résolus qu'à l'aide des relations de voisinage - à côté de ; devant ou derrière une maison - ou d'enveloppement – sur la route ou sur la voies ferrée -).

Placer ici le Graphique 2

La qualité de la configuration de référence et l'importance des troubles de l'organisation spatiale semblent liées (graphique 3). En effet, plus l'indice de MGAM est élevé, plus les sujets obtiennent un score élevé à l'épreuve spatiale. Il existe une corrélation forte entre ces deux facteurs (r de Spearman = 0,976).

Placer ici le Graphique 3

Discussion

Nous pouvons désormais penser qu'il existe un moyen objectif de caractériser le « modèle moteur » des enfants atteints d'IMC. Cette évaluation peut permettre de repérer les enfants présentant un « modèle moteur » susceptible d'être associé à des troubles importants de la cognition spatiale. Cela permettrait d'intervenir suffisamment tôt avant la fin de la construction de l'espace représenté et réduirait, on peut l'espérer, les conséquences qu'ont les troubles de l'espace sur les apprentissages scolaires fondamentaux.

Les enfants accueillis précocement dans une institution peuvent bénéficier d'une prise en charge pluridisciplinaire globale. L'accompagnement psychologique peut être orienté vers un accompagnement de l'expérience motrice. En effet, le rôle spécifique du psychologue peut favoriser la découverte ou le retour du plaisir d'agir et de se sentir agir.

Dans des travaux antérieurs, nous avons montré que les enfants atteints d'IMC disposent de capacités de représentations imagées analogiques préservées (Zabalia, 1999) et que la pratique d'exercices d'imagerie soutenait le traitement cognitif de situations spatiales (Zabalia, 2002). Nous savons par ailleurs depuis longtemps que de jeunes enfants de 4 ans sont en mesure d'utiliser l'imagerie mentale (Marmor, 1975). L'intérêt de la pratique mentale est aussi reconnu en psychomotricité où elle est utilisée pour faciliter les apprentissages moteurs. En effet, le contrôle du mouvement passe par une intégration des informations extéroceptives, proprioceptives et kinesthésiques, et les conséquences sensorielles du mouvement jouent un rôle important dans son contrôle. C'est cet aspect qui est en partie inexploitable pour l'enfant IMC. Les conséquences sensorielles du geste constituent des enveloppes sensorielles qui font partie intégrante du schéma corporel. Des prises en charge pluridisciplinaires associant un accompagnement psychologique, kinésithérapeutique et psychomoteur peuvent être orientées vers un étayage de ces enveloppes sensorielles. L'accompagnement de l'expérience motrice peut-être enrichi à l'aide de médiations associant au mouvement des feed-backs sensoriels diversifiés tels que des stimulations tactiles comme cela a été récemment proposé pour les personnes ayant des déficits sensori-moteurs (Bonnet et Lestienne, 2003)

Conclusion

Parce que les enfants atteints d'IMC présentent une restriction motrice grave, on méconnaît bien souvent l'existence des troubles spécifiques de la cognition spatiale qui ont pourtant un impact important sur les apprentissages. Nous avons montré à plusieurs reprises que l'IMC retient plus massivement sur un type de traitement séquentiel et analytique des situations spatiales, que le recours difficile à ce type de fonctionnement cognitif retient sur les apprentissages fondamentaux et que la gravité de ces difficultés ne sont pas corrélées à l'importance des restrictions motrices ni à leur localisation.

C'est la raison pour laquelle le concept de *configuration de référence* théorisé par la biomécanique, c'est-à-dire la qualité du projet moteur à l'intérieur d'un cadre compris comme un supra modèle sensori-moteur permet d'estimer le poids de la restriction motrice sur la production du mouvement. Nous avons fait l'hypothèse, en cours de validation, que

cet indice, qui permet une évaluation globale, peut-être utilisé pour prévenir le développement de troubles de l'organisation spatiale. En effet, les enfants présentant des patrons moteurs typiques peuvent se voir adresser une prise en charge pluridisciplinaire orientée vers un accompagnement de l'expérience motrice destinée à faire émerger des enveloppes sensorielles multimodales susceptibles d'être intégrées en tant que schèmes sensori-moteurs.

Références bibliographiques

- Bernstein, N.A. (1967). *The Coordination and Regulation of Movements*. London : Pergamon Press.
- Berthoz, A. (1997) *Le sens du mouvement*, Paris : Odile Jacob
- Bonnet, C. & Lestienne, F.G. (2003). *Percevoir et produire le mouvement*. Paris : Armand Colin
- Feldman, A.G., Archambault, Ph. & Lestienne, F.G. (1999). Multi-muscle control is based on the specification of referent body image. In Gantchev G.N. Mori S. Massion J. (Eds) *Motor Control, today and tomorrow*(pp 163-179). Sofia : Academic Publishing House
- Gibson, J.-J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale,NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kosslyn, S.M. (1973) Scanning visual images: Some structural implications, *Perception and Psychophysics*, 14, 90-94.
- Kosslyn, S.M. (1980) *Image and mind*. Cambridge (Mass) : Harvard University Press.
- Kosslyn, S.M. (1994) *Image and brain : the resolution of the imagery debate*. Cambridge ; MIT Press.
- Kosslyn, S.M., Ball, T.M. & Reiser, B.J. (1978) Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of images scanning, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 4, pp 47-60.
- Laurendeau, M. & Pinard, A. (1968). *Les premières notions spatiales de l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé
- Lautrey, J. & Chartier, D. (1987). Images mentales de transformations et opérations cognitives une revue critique des études développementales. *L'Année Psychologique*, 87 : 581-602.
- Lestienne, F.G. & Feldman, A.G. (2001). Une approche théorique de la production du mouvement : du modèle lambda au concept de « Configuration de Référence Productrice d'Actions ». *Sciences et Motricité*, 45/1, 9-43.
- Lestienne, F.G., Ghafouri, M., & Thullier F. (1995). What does body configuration in microgravity tell us about the contribution of intra and extrapersonal frames? *Behavioral Brain Research*, 18, 766-767.
- Lestienne, F.G. & Gurfinkel, V.S. (1988). Posture as an organizational structure based on a dual process : a formal basis to interpret change of posture in weightlessness, *Progress in Brain Research*, 76, 307-313.
- Marmor, GS. (1975). Development of kinetic images : when does the child first represent movement in mental images ? *Cognitive Psychology*, 7, 548-559.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966) *L'image mentale chez l'enfant*. Paris: PUF.

- Shenton, J.T., Schwoebel, J. & Coslett H.B. (2004) Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance, *Neuroscience Letters*, 370/1, 19-24.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. (1971) Mental rotation of three-dimensional objects, *Science*, 171, 701-703.
- Schmidt, R.A. (1993) *Apprentissage moteur et performance*. Paris : Vigot
- Stevens, J.A. (2005) Interference effects demonstrate distinct roles for visual and motor imagery during the mental representation of human action, *Cognition*, 95/3, 329-350.
- Temprado, J.-J. & Montagne G. (2001) Les coordinations perceptivo-motrices. Paris : Armand Colin.
- Wallon, H. (1941). *L'évolution psychologique de l'enfant*. Paris : Armand colin
- Zabalia, M. (2002). Apports d'exercices d'imagerie mentale dans la réalisation d'une tâche spatiale chez des enfants IMC, *Motricité Cérébrale, Réadaptation, Neurologie du développement*, 23/1, 21-30.
- Zabalia, M. (2004). Espaces psychiques et cognition de l'espace chez des enfants atteints d'Infirmiété Motrice d'origine Cérébrale, *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 52/3, 160-165.
- Zabalia, M. (2000). The role of action in the representation of moving shapes in children with cerebral palsy, *Current Psychology Letters -Behaviour, Brain and Cognition*, 2, 71-78.
- Zabalia, M. (1999). Traitement analogique et traitement propositionnel des rotations mentales chez les enfants IMC, *L'Année Psychologique*, 99, 75-97.
- Zabalia, M. & Mellier, D. (1996). Effets d'exercice de rotation mentale sur le traitement des relations topologiques élémentaires chez des enfants handicapés moteurs, *Les Archives de Psychologie*, 64, 67-82.

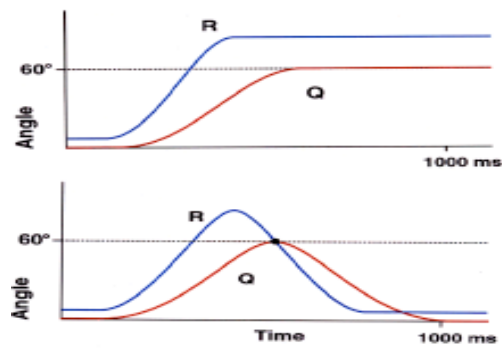


Figure 1 : Diagramme théorique de la configuration de référence (R) et de la configuration actuelle du corps (Q) symbolisant le minimum global d'activité musculaire [15].

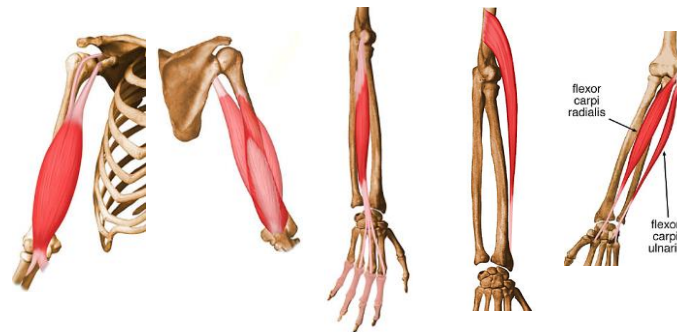


Figure 2 : Les muscles enregistrés par électrode de surface : biceps brachial, triceps brachial, long supinateur, fléchisseur et extenseur du poignet

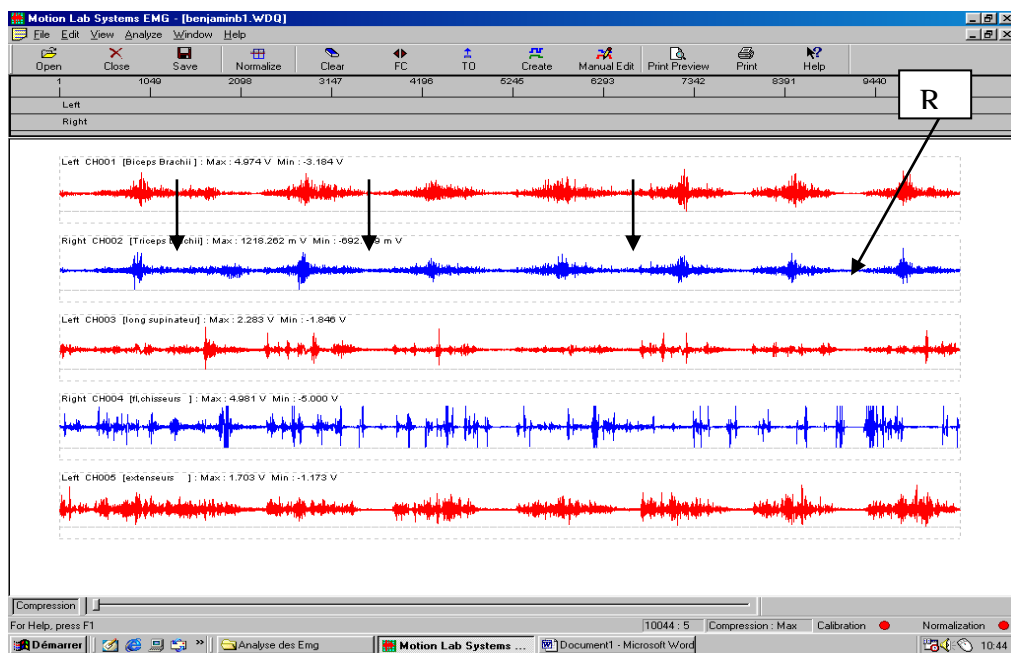


Figure 3 : Signaux d'EMG lors de 7 mouvements d'aller-retour du bras (AR) chez un sujet valide. Les flèches indiquent des minima globaux d'activité musculaire au moment de la réversibilité du mouvement (R).

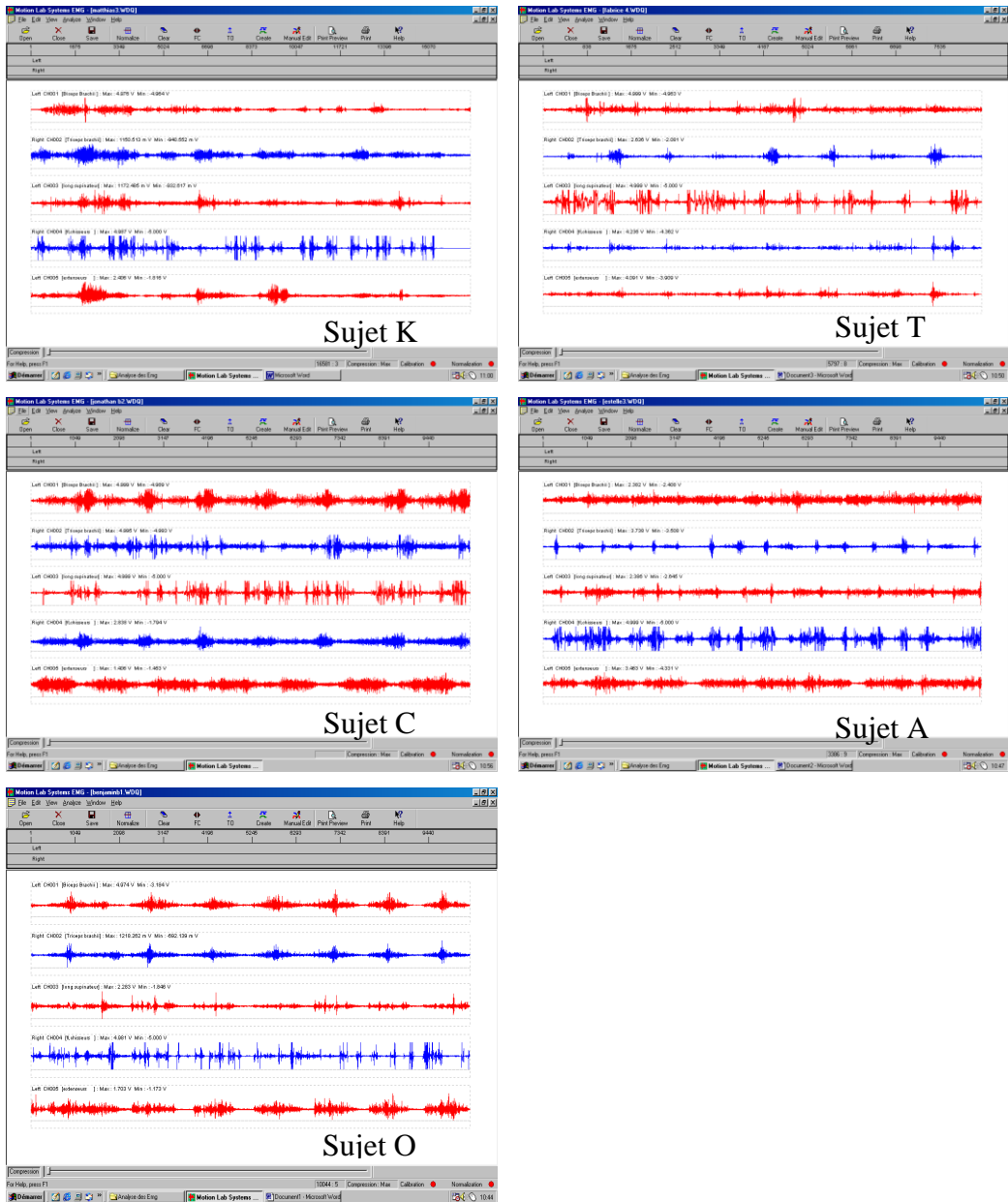
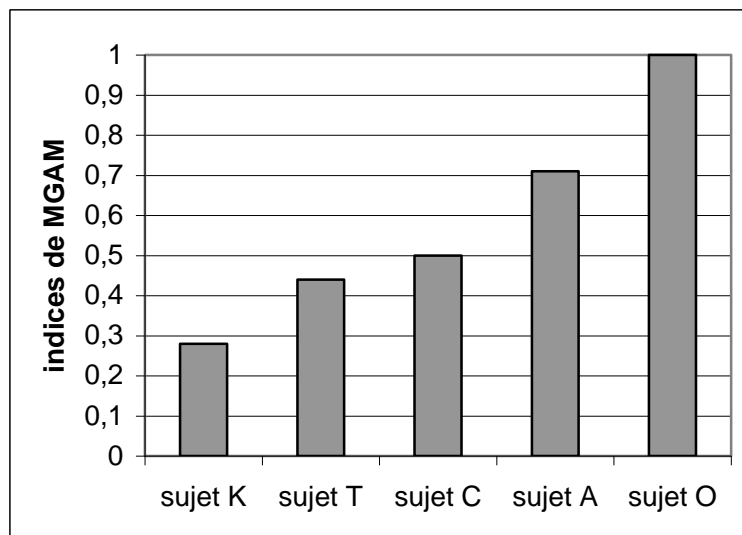
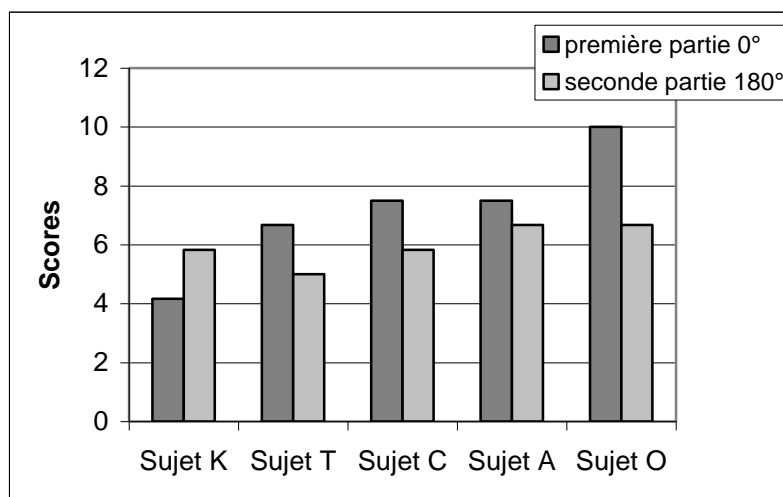


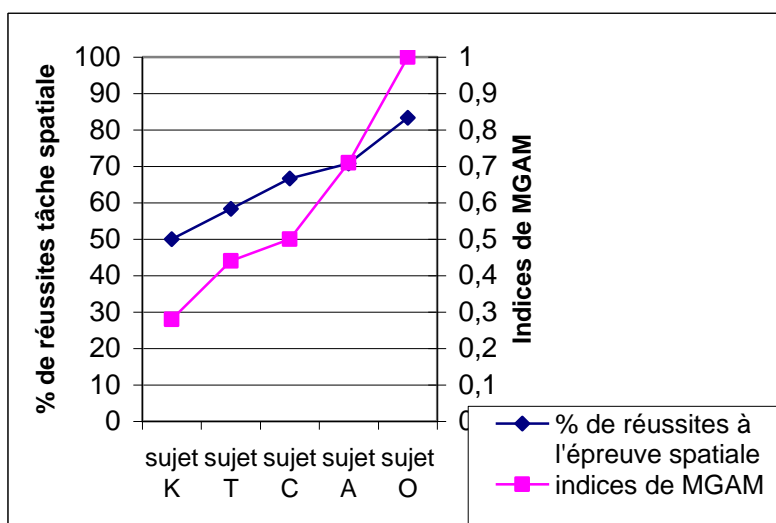
Figure 4 : Signaux EMG bruts des 5 sujets au cours d'un mouvement réversible du bras.



Graphique I : Indices de Minima Globaux d'Activité Musculaire pour chacun des sujets IMC au cours de mouvements du bras.



Graphique II : Scores sur 12 points des 5 sujets aux deux parties de l'épreuve de localisation spatiale.



Graphique III : Pourcentages de réussites à l'ensemble de l'épreuve spatiale et indices de Minima Globaux d'Activité Musculaire (MGAM) chez les sujets IMC