

<b>Zeitschrift:</b>	Physiotherapie = Fisioterapia
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
<b>Band:</b>	32 (1996)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Analyse de la cinématique de l'évolution du contrôle postural chez l'enfant : (
<b>Autor:</b>	Filippi, G. / Giovanni, G. de / Grotto, G. / Macchi, A.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-929077">https://doi.org/10.5169/seals-929077</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## PRATIQUE

# Analyse de la cinématique de l'évolution du contrôle postural chez l'enfant

(étude avec Costel)\*

\* Le travail a été développé dans le cadre du programme de recherche finalisée «Elaboration et expérimentation d'appareillage pour la rééducation de la marche de la personne avec neuroléSION» demandé par la région Venetie à l'U.S.S.L. n.6, Haut Vicentin.

## Introduction

Pour affronter l'étude du développement de ce qu'on appelle le contrôle postural dans l'âge évolutif on doit, comme opération préliminaire, s'orienter parmi les branches de recherche différentes.

L'expansion de ce chapitre est évidemment fondamentale, mais pour les buts du sujet de la relation et pour la place disponible, nous sommes obligés de faire brièvement le point sur seulement quelques concepts, en renvoyant à la bibliographie pour un examen plus complet du thème. La première orientation historique des études est celle qui est fondée sur les réflexes, autrement dit «maturationiste»; elle explique tous les aspects du développement du contrôle postural et de la locomotion simplement en termes d'une maturation générale du SNC.

Cette perspective est aujourd'hui considérée comme limitative et dépassée par les contributions de la perspective appelée «perceptive-motrice», dans laquelle on peut mettre en évidence deux courants de recherche: l. celui des liens biomécaniques (facteurs non neurologiques) jusqu'à maintenant peu con-

siderés dans le développement du contrôle postural; 2. celui de la coordination inter-sensorielle qui souligne le concept de redondance sensorielle (imputs redondants qui interagissent dans le contrôle postural).

A ce courant de recherche contribuent deux ordres d'études: a) les études neurophysiologiques et psychologiques qui ont eu, entre autre, le mérite de souligner la fonction proprioceptrice de la visualisation; les auteurs parlent en effet de «contrôle visuel-proprioceptif» fondamental dans les phases d'acquisition de nouvelles postures: les effets des imputs visuels graduellement décroissent et il émerge, dans un processus d'intégration entre imputs «extéroceptifs» et «somatosensitifs», ce que Butterworth définit comme «équipotentialité» de différentes espèces d'informations dans le maintien du contrôle postural; b) l'autre courant d'études, qui dérive du transfert à l'âge évolutif des modalités d'étude déjà appliquées aux sujets adultes, est centré sur l'apparition des «arrangements»

posturaux automatiques; les auteurs observent que les synergies émergent précocement, mais elles se présentent de façon différente par rapport à l'adulte, c'est à dire avec une plus grande variabilité.

Synthétiquement de toutes ces études, il émerge que l'âge qui va de 4 ans à 6 ans représente un âge de transition où l'on observe:

- une grande variabilité dans les synergies;
- un passage dans le contrôle postural d'une dépendance visuelle à une dépendance mixte visuelle et proprioceptive;
- les conditions qui altèrent la stabilité sont soit celles où l'on assiste à une réduction de la redondance (épreuve à yeux fermés), soit, encore plus, celles qui créent des conflits intersensoriels.

Cet âge représente donc une période de transition où les enfants sont en train de développer des stratégies d'intégration sensorielle plus semblables aux adultes dans l'organisation des imputs sensoriels redondants et dans la résolution des conflits intersensoriels multimodaux.

Nous verrons ensuite comment ces considérations ont guidé notre travail, consacré exactement à évaluer l'utilité de l'analyse cinématique chez l'étude de l'évolution du contrôle postural chez l'enfant pour parvenir à une définition du «rationnel» dans les choix réhabilitatifs opérés.

## Matériel et méthode

Notre travail, inspiré par des considérations introducives sur l'âge de transition, a commencé avant tout avec l'utilisation, comme point de repère, des études de Oddson sur les mouvements du tronc.

Un des chapitres de ces études a été dédié au contrôle moteur des mouvements de flexion volontaire du tronc (sujets adultes). Oddson a mis en évidence que, quand une personne fléchit le tronc en avant, elle peut réaliser cette tâche de façons différentes qui dépendent du but de l'action, et il a démontré la grande variabilité présente dans les stratégies (en relation avec un mouvement lent ou rapide ou avec un début de déplacement postérieur du bassin).

Dans notre laboratoire d'étude du mouvement, en utilisant le

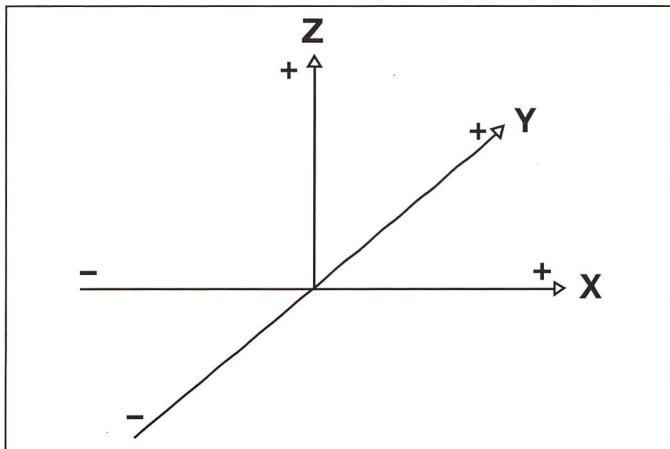


Fig. 1: Le système de relevés Costel permet la relève et l'élaboration des grandeurs qui définissent le mouvement des segments corporels dans les trois dimensions de l'espace. Les segments corporels sont individualisés au moyen de leds mis sur des points de référence déterminés. Le déplacement de ces points est enregistré par trois caméras opto-électroniques connectés à un ordinateur qui élaboré les données et les reproduit sous forme graphique.

système Costel (fig.1) et en nous transférant dans un cadre évolutif, nous avons pu répéter et étendre les observations de Oddson.

Les relevés ont été réalisés sur un sujet adulte sain et normal (sexe féminin, âge 21 ans, taille cm 167, poids kg 58), un sujet en âge évolutif (fille saine et normale, âge 4 ans et 8 mois, taille cm 115, supérieure aux 97 de son âge, poids kg 17) et deux sujets en âge évolutif atteints d'hémiplégie dr., suite à une encéphalopathie infantile (il s'agit de deux filles du même âge que la première et toutes les deux au 50% de la courbe de croissance corporelle).

Sur tous les sujets testés on a appliqué huit leds selon le schéma de Oddson:

- 1 led: 5 orteil pied dr.
  - 2 led: malléole externe dr.
  - 3 led: genou (condyle fémoral ext.) dr.
  - 4 led: hanche (grand trochanter) dr.
  - 5 led: épine iliaque antéro-sup. dr.
  - 6 led: épine iliaque post. dr.
  - 7 led: à l'hauteur de L3, sur le côté
  - 8 led: sommet épaule dr.  
(= hauteur de C7)
- et nous avons utilisé les déplacements sur le plan «ZX»: pour ce qui concerne le sujet adulte,

nous avons simplement répété les trois épreuves de Oddson (flexion antérieure du tronc lente, rapide et avec un premier mouvement de déplacement postérieur du bassin), tandis que pour les sujets en âge évolutif, nous avons compliqué les situations. Nous les avons soumis à sept tests qui tous prévoient la flexion du tronc, mais celle-ci était obtenue dans des contextes différents et en conditions de réduction de la redondance sensorielle (quelques épreuves devaient être faites sans l'aide de la vue):

- 1) flexion rapide du tronc - yeux ouverts;
- 2) rétroposition du bassin avec flexion du tronc - yeux ouverts;
- 3) porter avec la main dr. un objet de poids insignifiant sur une surface d'appui antérieure basse - yeux ouverts;
- 4) porter avec deux mains un objet de poids insignifiant (15 cm de diamètre) sur une surface d'appui antérieure basse - yeux ouverts
- 5) comme l'épreuve 1 - yeux fermés;
- 6) comme l'épreuve 3 - yeux fermés;
- 7) comme l'épreuve 4 - yeux fermés.

## Résultats

L'analyse des données des épreuves exécutées sur le sujet adulte permet d'observer une superposition parfaite entre nos observations et celles de Oddson. Comme exemple qui nous sert de comparaison des stratégies adoptées par le sujet normal en âge évolutif, nous reproduisons le graphique cumulatif indiquant le déplacement des leds 3, 4, 7, 8 dans le mouvement de flexion rapide du tronc chez le sujet adulte sain (voir fig. 2).

On observe que la flexion initiale du tronc est accompagnée par une légère flexion solidaire de la cheville et du genou, afin de maintenir le cg (centre de gravité) dans la base d'appui et de le baisser; successivement on a l'extension de la cheville et du genou déterminée par le déplacement postérieur du grand trochanter et du tibia. Donc, dans ce cas, le mouvement primaire est celui du tronc et le membre inférieur se conduit en conséquence selon la tâche demandée en lien étroit avec le tronc: au début de la flexion, le sujet cherche de baisser le barycentre (à travers une légère flexion de la cheville

## PRATIQUE

et du genou, probablement pour amortir la poussée initiale des segments supérieurs qui, avec un barycentre haut, favoriseraient la chute en avant): quand la masse du tronc porte la ligne d'application de la fg (force de gravité) à la limite antérieure de la base d'appui, le sujet déplace le barycentre en arrière (extension du membre inférieur).

Si nous observons maintenant le même mouvement chez le sujet normal en âge évolutif, nous voyons que la stratégie mise en œuvre révèle des différences marquées avec l'adulte; dans le graphique précédent (celui relatif à l'adulte) on voit comment le led 8 (C7= tronc) et le led 7 (L3) sont solidaires en avant et le led 4 (hanche) et le led 3 (genou) solidaires en arrière: en même temps, on observe dans le graphique suivant (voir fig. 3) relatif à la fille saine que le led 8 va en avant et tous les autres en arrière

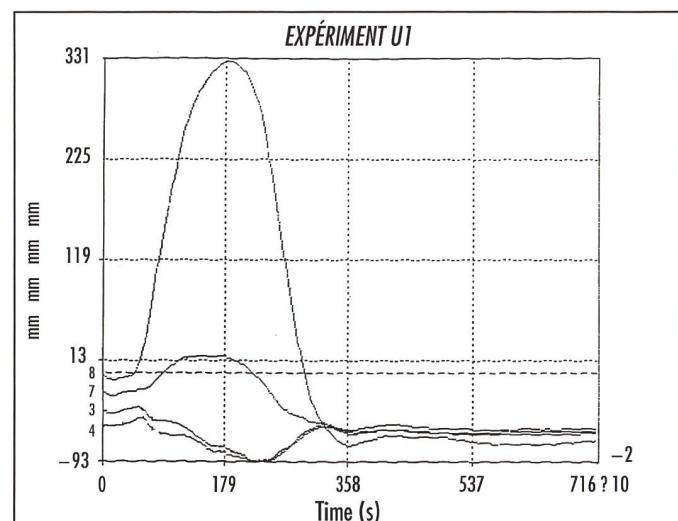


Fig. 2: Épreuve de flexion rapide du tronc chez le sujet adulte sain et normal. Graphique relatif au déplacement des leds n. 3-4-7-8 (voir texte pour l'explication). Le développement des lignes du graphique vers le haut indique un mouvement de flexion vers le bas en extension. L'épreuve se termine à Time 179 cs.; la phase comprise entre Time 179 et 358 cs. représente le retour à la position verticale.

## PRATIQUE

re, mais le led 3 (genou) après peu de centièmes de seconde intervertit la trajectoire et vient en avant.

L'analyse des angles qu'on ne peut pas représenter graphiquement ici pour raisons de place, met en évidence que d'abord on a une légère extension du genou

(qui atteint en avance son pic) et de la cheville (qui le suit à peu de centièmes de distance) suivi d'une flexion des deux (le genou commence d'abord): ce changement de stratégie peut être interprété en supposant que la fille veut mettre à exécution tout de suite la stratégie de l'adulte, mais n'étant pas celle-ci, dans ce cas précédée par la brève flexion initiale du genou et tibio-tarsique, la fille est mise en condition de baisser le barycentre pour réduire le risque de chute antérieure: elle choisit, en d'autres termes, une stratégie qui lui permet de porter de nouveau en arrière

le barycentre, mais de le baisser aussi.

Il est intéressant, à ce propos, d'observer dans le dessin suivant (voir fig. 4) le déplacement du led 4 (grand trochanter): d'abord en arrière et légèrement en bas, ensuite seulement en bas et, dans une troisième phase, encore en arrière et en bas: enfin, on a un déplacement en arrière de 8,8 cm et en bas de 4,8 cm.

Nous ne pouvons pas exposer les données relatives à tous les autres relevés, mais nous croyons utile, et graphiquement simple à comprendre, de résumer dans le dessin (voir fig. 4) le comportement du led 4 (grand trochanter) dans les différentes épreuves.

Nous croyons que ce fait est tout à fait démontré par la variabilité des stratégies réalisées par la fille pour faire face à des tâches très semblables.

Pour ce qui concerne les observations effectuées sur les deux cas des filles hémiplégiques, les résultats, en absence d'études comparatives similaires et pour l'exactitude des interprétations scientifiques, doivent être soumis à une analyse multifactorielle (pour laquelle on est en train d'équiper notre laboratoire en intégrant le système Costel avec un tremplin dynamométrique et l'électromiographie).

En même temps, il est possible de faire une seule observation qui est cependant très intéressante pour les implications qu'elle présente.

Les deux filles ont des situations cliniques différentes, même si elles sont toutes les deux hémiplégiques dr. cliniquement de degré mi-léger.

La première (Dania) présente le membre inférieur dr. cm 15 plus court que le contre-latéral, sous stress le membre inférieur dr., avec talon au sol, se surtend: il ne présente pas une réactivité à l'étirement au niveau du muscle triceps sural.

La seconde (Margh) n'a pas de différences de longueur significa-

tives entre les membres inférieurs, mais elle a une réactivité élevée à l'étirement du muscle triceps sural.

Si nous observons les comportements fournis par le stick diagram, nous voyons que chacune des filles a tendance à utiliser la même stratégie dans les diverses épreuves, chacune conditionnée par sa spécificité de pathologique (voir fig. 5 et 6).

## Discussion

Le but du travail était de vérifier si l'analyse cinématique peut apporter une contribution à la confirmation des conclusions auxquelles sont arrivés les études sur l'orientation qu'on appelle perceptive-motrice C, c'est à dire que l'âge de 4 à 6 ans représente un âge critique de transition dans l'acquisition du contrôle postural), et si cette analyse peut offrir des considérations utiles à diriger les choix de l'exercice.

La comparaison parmi les stratégies réalisées par le sujet en âge évolutif pour faire face aux mêmes tâches (comme dans l'exemple rapporté de flexion rapide du tronc) permet d'affirmer que même selon l'analyse cinématique l'âge entre 4 et 6 ans représente un âge d'incertitude opérationnelle avec changements rapides de stratégie liés au besoin de s'assurer la plus grande stabilité lors d'une phase dans laquelle on n'a pas encore réalisé le passage d'un rôle prépondérant de l'information visuelle à une utilisation plus accentuée de l'information somatosensitive. Un autre aspect qui émerge de l'observation du sujet normal en âge évolutif est celui de la présence déjà évidente d'un haut degré de variabilité dans les stratégies qui sont directement tâche-spécifiques (dans l'exemple, la flexion du tronc réalisée dans des contextes qui varient peu est obtenue avec des stratégies très différentes et la description graphique du comportement du

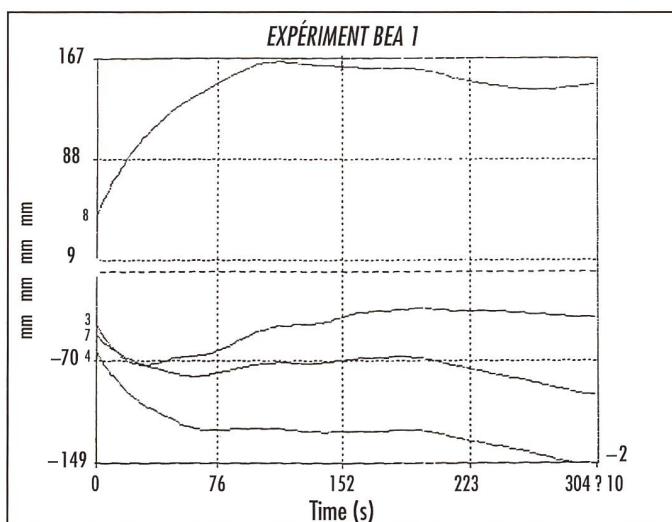


Fig. 3: Épreuve de flexion rapide du tronc chez un sujet sain et normal en âge évolutif. Graphique relatif au déplacement des LEDs n. 3-4-7-8 (v. texte pour l'explication). Le développement des lignes du graphique vers le haut indique un mouvement de flexion, vers le bas, extension. Dans le graphique on a illustré la seule phase de flexion du tronc (et non le retour à la verticale comme dans le graphique de l'adulte).

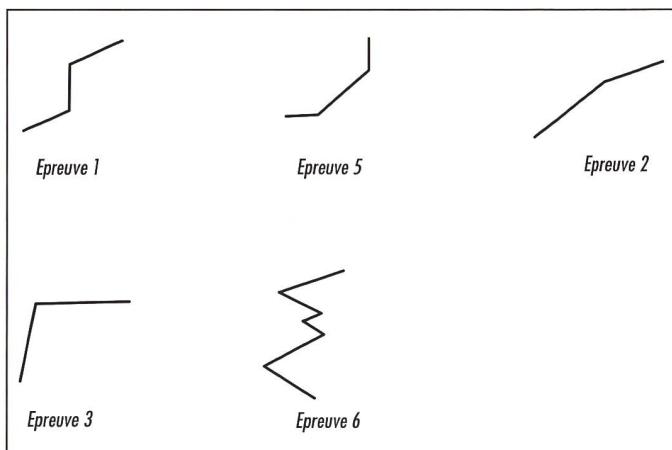
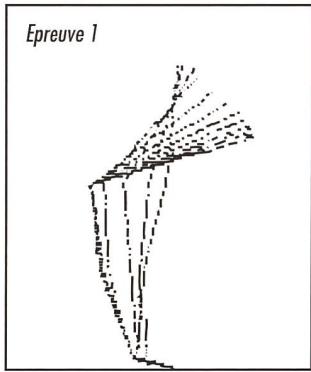
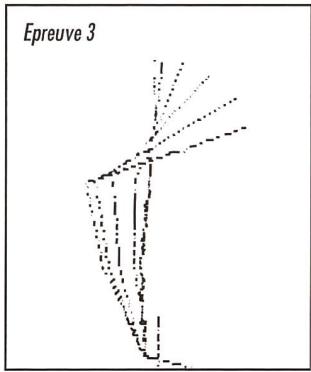


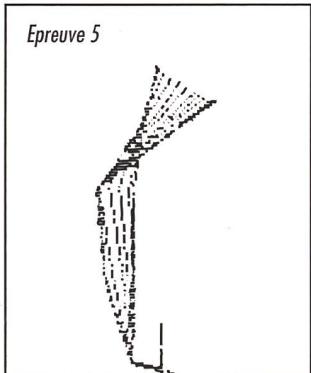
Fig. 4: Comportement du led 4 (grand trochanter) sur le plan «ZX» chez le sujet sain et normal en âge évolutif (pour l'explication voir le texte).



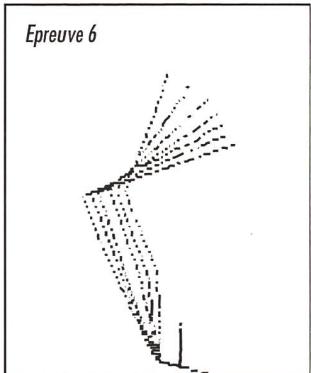
Epreuve 1



Epreuve 3

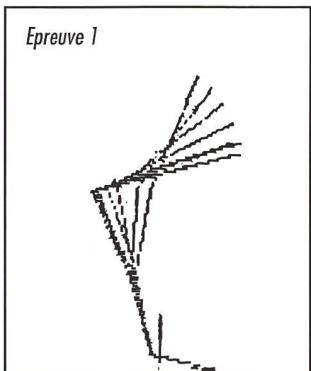


Epreuve 5

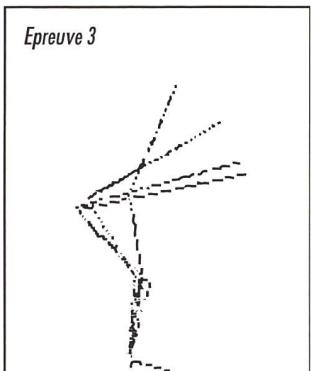


Epreuve 6

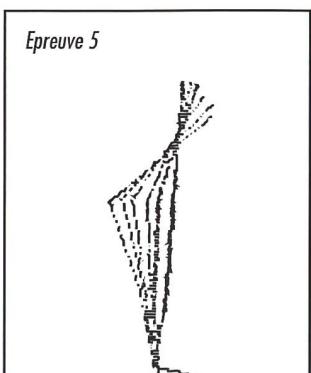
Fig. 5: Stick diagram relatif aux épreuves n. 1-3-5-6 de la fille Dania (pour l'explication voir le texte).



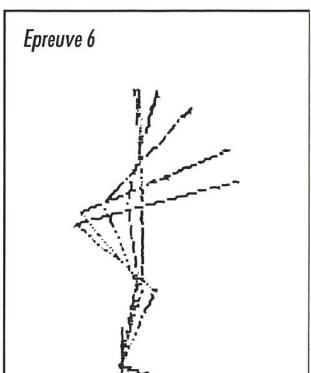
Epreuve 1



Epreuve 3



Epreuve 5



Epreuve 6

Fig. 6: Stick diagram relatif aux épreuves n. 1-3-5-6 de la fille Margh (pour l'explication voir le texte).

led 4 (= hanche) en est un clair témoignage). Ce concept de variabilité dans les stratégies tâche-spécifiques a été clairement expliqué par Pedotti et Crenna (1990) qui se référaient aux trois niveaux dans lesquels se réalise ce qu'on appelle la redondance fonctionnelle (niveau cinématique, niveau du recrutement musculaire, niveau central à la charge du SNC).

Pour des raisons de place, il n'est pas possible de discuter en détail toutes les données, mais il est intéressant de rapporter comment la réduction de la redondance sensorielle (épreuves à yeux fermés) modifie les paramètres temps-spatiaux des épreuves (ex.: temps plus longs d'exécution). On peut faire une observation intéressante à propos des différences observées dans l'épreuve de la flexion rapide du tronc à yeux fermés (où les filles arrêtent le mouvement après peu de degrés de flexion du tronc) et dans l'épreuve de porter un objet à yeux fermés sur une surface antérieure-basse (où, au contraire, la flexion du tronc était appropriée pour la réalisation de la tâche): on peut croire qu'une sorte de mémoire spatiale agit pour permettre aux filles d'atteindre la cible, alors qu'en absence de référence spatiale elles tendent à arrêter en avance le mouvement. Cette observation équivaut pour les trois filles testées.

Une dernière considération est relative aux observations faites dans les deux cas des filles hémiplégiques: l'analyse cinématique permet d'observer comment la pathologie s'exprime avec stéréotypie dans les réponses (c'est-à-dire avec peu de variabilité) et avec différences interindividuelles (chacune des filles tend à utiliser la même stratégie dans les différentes épreuves, chacune conditionnée par sa pathologie spécifique); du point de vue réhabilitation, la conclusion que nous pouvons tirer est qu'évidemment on ne peut pas utiliser des manœuvres fixes standardisées, si nous

## PRATIQUE

voulons mettre l'enfant dans les conditions d'avoir de plus grandes possibilités dynamiques pour réaliser la faculté d'adaptation au milieu.

## Bibliographie:

- 1) Butterworth, G. (1990): *Development in infancy: A quarter century of empirical and theoretical progress*. In: *Developmental Psychology*, C.A. Havert Ed., Elsevier, North Holland.
- 2) Forssberg, H.; Nashner, L.M. (1982): *Ontogenetic development of postural control in man: Adaptation to altered support and visual conditions during stance*. *J. neurosc.* 2 (5), 545-582.
- 3) Lee, D.N.; Aronson, E. (1974): *Visual proprioceptive control of standing in human infants*. *Perception and Psychophysics* 15, 529-532.
- 4) Jouen, F.; Lepecq, J.C. (1990): *Early perspectivo-motor development: posture and locomotion* in *Development Psychology*. C.A. Hauert Ed., Elsevier, North Holland.
- 5) Nashner, L.M.; Shumway-Look, A.; Marin, O. (1983): *Stance posture control in select groups of children with cerebral palsy: deficits in sensory organization and muscular coordination*. *Exp. Brain Res.* 49, 393-409.
- 6) Oddson, L.I.E. (1990): *Control of voluntary trunk movements in man*. *Acta physiologica scandinavica*, vol. 140, supplementum 595.
- 7) Pedotti, A.; Crenna, P. (1990): *Individual strategies of muscle recruitment in complex natural movements in Multiple Muscle Systems: biomechanics and movement organization*. Winters J.N. and Koo L.S. Eds., Springer Verlag, New York.
- 8) Shumway-Cook, A.; Woollacott, M.H. (1985): *The growth of stability: postural control from a developmental perspective*. *Journal of Motor Behavior* 17, 2, 131-147.
- 9) Woollacott, M.; Debù, B.; Mowatt, M. (1987): *Neuromuscular control of posture in the infant and child: is vision dominant?* *Journal of Motor Behavior* 19, 2, 167-186.