



HAL
open science

Perspectives actuelles sur le développement du tonus et de la posture

Marianne ´ Jover

► **To cite this version:**

Marianne ´ Jover. Perspectives actuelles sur le développement du tonus et de la posture. J. Rivière. Le développement psychomoteur du jeune enfant. Idées neuves et approches actuelles, Solal, pp.17-52, 2000. hal-02479299

HAL Id: hal-02479299

<https://hal.science/hal-02479299v1>

Submitted on 19 Feb 2020

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

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

Jover, M. (2000). Perspectives actuelles sur le développement du tonus et de la posture. In J. Rivière (Ed.), Le développement psychomoteur du jeune enfant. Idées neuves et approches actuelles, (pp. 17-52). Marseille : Solal.

Perspectives actuelles sur le développement du tonus et de la posture

Marianne Jover, Psychomotricienne, Doctorante en Psychologie Université de Rouen.

1. Introduction

La posture et le tonus sont à la base de l'organisation et de l'exécution des praxies : un mouvement ne peut être exécuté sans une posture adaptée. La première fonction posturale est antigravitaire ; elle permet le maintien de la géométrie corporelle durant le déroulement de l'action. La seconde des fonctions posturales est d'orienter le corps dans l'espace et de fournir un cadre de référence aux interactions entre le sujet et l'environnement (stabilisation du regard, orientation vers l'objectif, organisation des afférences perceptives). La posture constitue donc l'ancrage de l'activité motrice de déplacement et d'exploration.

L'évolution de la posture est un élément clé dans le développement psychomoteur. C'est elle qui permettra à l'enfant de progressivement atteindre la position assise puis érigée, de libérer la mobilité de l'épaule et de la main, d'orienter son corps et dans le cadre de sa fonction expressive, d'initier des interactions. Ces acquisitions sont à la source des développements perceptif, moteur, cognitif, affectif ou social.

L'objectif de ce chapitre est, à travers le calendrier classique des acquisitions posturales, de souligner les multiples implications de l'évolution de la posture dans le développement psychomoteur. Nous débutons par un bref rappel sur les notions de tonus et de posture, leur développement à partir de la naissance. Les systèmes régulateurs de la posture, leurs mécanismes et leur développement seront ensuite abordés. Nous présenterons alors plusieurs questions et perspectives théoriques actuelles. Enfin, le fondement même de la notion de posture sera étudié au travers de ses interactions avec le mouvement volontaire. Le cas de l'ajustement postural anticipé permettra d'illustrer les liens qui unissent le mouvement volontaire et la posture dans une perspective prescriptive.

2. Concepts de tonus et de posture, distinctions préalables

Les termes de tonus et de posture recouvrent dans le langage commun une quantité importante de sens et il est important, afin de préciser notre propos, de revenir à leur définition fondamentale.

Le tonus est l'état de légère tension des muscles au repos, résultant d'une stimulation continue réflexe de leur nerf moteur. Cette contraction isométrique (la tension augmente mais pas la longueur) est permanente et

involontaire. Elle fixe les articulations dans une position déterminée et n'est génératrice, ni de mouvement, ni de déplacement. Le tonus maintient ainsi les stations, les postures et les attitudes. Il est la toile de fond des activités motrices et posturales. Le terme –tonus- décrit des aspects de caractère différent, traitant tantôt de répartition tonique au repos (tonus passif), tantôt de mécanismes régulateurs en jeu dans le mouvement (tonus actif). Cette dichotomie tonus actif / tonus passif s'approche au plus près de celle dont use le psychomotricien durant sa pratique (Amiel-Tison & Lebrun, 1990).

Le tonus passif, aussi appelé tonus permanent ou tonus de fond, correspond à la tension permanente du muscle. Il est caractérisé par l'extensibilité, ainsi que la consistance musculaire et la passivité. Le tonus passif est la base de toute activité motrice. Son évaluation lors de l'examen neuromoteur se fait par le ballant ou la chute, la mesure d'angles corporels obtenus par la mobilisation passive de segments (angle poplité, angle de dorsiflexion du pied...).

Le tonus d'action ou tonus actif, correspond aux variations de tension musculaire qui préparent et soutiennent le mouvement. Il permet le redressement symétrique des membres inférieurs, du tronc, du cou (fléchisseurs et extenseurs) et les réactions posturales. L'évaluation du tonus actif stricto sensu est complexe : d'abord, il recouvre plusieurs composantes (tonus statique, d'orientation et d'expression) et d'autre part il échappe aux évaluations métriques (Bullinger, 1998 ; Saint Anne Dargassies, 1982 ; Stambak, 1963).

La posture est définie comme le maintien du corps dans une position donnée grâce à une activité musculaire permanente et qui s'oppose au jeu des articulations. La posture est donc la position des parties du corps, les unes par rapport aux autres et par rapport à la pesanteur (Corraze, 1987). Elle est construite sur une somme de mécanismes dont le tonus musculaire (Massion, 1984). La posture est un aspect fondamental de l'action motrice : elle prépare, soutient et assure l'efficacité du mouvement. Tout comme pour le tonus, on distingue plusieurs catégories de posture : orthostatique versus dynamique (Ghez et al., 1993c) ; antigravitaire versus directionnelle (Paillard, 1976). Enfin, pour Wallon (Wallon, 1956), la posture s'apparente, d'une part à l'attitude ou la mimique, d'autre part aux réactions secondaires de compensation ou de rééquilibre suivant une perturbation.

Tonus et posture ne sont donc pas superposables. Il y a en quelque sorte un rapport d'inclusion entre les deux ; le tonus déterminant l'adoption d'une posture. En outre, chacun occupe une place fondamentale dans l'exécution du geste. D'un point de vue développemental, l'évolution du tonus sous tend celle de la posture et de l'activité motrice.

3. De la norme à la chronologie d'apparition des principales compétences posturales

Les ouvrages et tests, référençant les âges moyens d'apparition des différentes compétences posturales, sont pléthores chez le jeune enfant (Brunet & Lezine, 1961 ; Gesell, 1954 ; Illingworth, 1978 ; Koupernik & Dailly, 1972 ; Le Metayer, 1989 ; Saint Anne Dargassies, 1982 ; Vaivre Douret, 1997). Après un rapide descriptif du développement postural, nous envisagerons la question des âges d'acquisition et du développement psychomoteur en général.

3.1. Les caractéristiques toniques du nouveau-né

Lorsque la naissance a lieu à terme, la répartition du tonus du nouveau-né est très caractéristique car particulièrement déséquilibrée. Le tronc et le cou sont hypotoniques. La tête est ballante lors du tiré assis ou de la suspension car la musculature du dos et du cou ne permet pas de lutte contre la pesanteur. Cette hypotonie axiale tranche avec une hypertonie des fléchisseurs des membres, de l'épaule aux doigts et de la hanche aux orteils (hypertonie distale). Cette répartition tonique contrastée persiste durant les premières semaines de la vie.

La posture et la motricité du très jeune enfant sont en partie soumises aux contraintes de réflexes précoces. Par exemple, le réflexe de recherche ou des points cardinaux¹, ou le réflexe tonique asymétrique du cou (figure 1 ; Illingworth, 1978 ; Saint Anne Dargassies, 1982). La présence puis la disparition des réflexes est un indicateur du développement et de la maturation neurologique du nourrisson.

- INSERER ICI FIGURE 1 -

Figure 1 : Enfant dans la position de l'escrimeur ou ATNR (asymetric tonic neck reflex). Le bras et la jambe vers lesquels l'enfant est tourné sont étendus et les membres controlatéraux sont fléchis.

3.2. Développement tonique de l'axe et des membres

Le développement du tonus de l'axe se traduit par une augmentation de la tonicité musculaire le long de la colonne vertébrale. Celle-ci progresse de la tête vers le bas du dos, c'est-à-dire que le tonus actif du cou s'installe avant celui de la région lombaire (loi de développement céphalo-caudale). En décubitus abdominal, l'enfant peut s'appuyer sur ses avant bras vers 3 mois et parvient à 6 mois à relever à la fois sa tête et ses membres afin de faire le « planeur »². La situation du tiré-assis permet de vérifier que la tête est fixée dans l'axe du tronc à 3 mois, et qu'elle participe à la traction à partir de 5 mois.

Au cours de la première année, le tonus des fléchisseurs des membres passe de l'hypertonie à l'hypotonie (autour de 3 mois), puis dans un second temps vers le renforcement du tonus des extenseurs par rapport aux fléchisseurs, dans le sens proximo-distal, c'est-à-dire des segments centraux vers les segments distaux. L'extensibilité des membres évolue de façon inverse au tonus et est maximale au moment où ils sont hypotoniques.

Lors de l'évaluation, les membres acquièrent donc un ballant de plus en plus grand alors que la tête est de plus en plus solidaire du tronc. Les jambes soutiennent ensuite de mieux en mieux le poids du corps.

3.3. Contrôle tonique et station assise

L'acquisition de la station assise est directement dépendante du développement de la rigidité de l'axe corporel. Lorsqu'il est maintenu en position semi-assise, le nouveau-né est " comme enroulé sur lui même, [...] le dos est rond et la tête plonge vers l'avant " (Bullinger, 1998).

Le redressement du buste dans la station assise met en jeu la musculature du dos, la respiration (" fonction pneumatique " ; Bullinger, 1998) et la pesanteur. Le renforcement du tonus de l'axe et son ajustement aux forces

¹ Orientation du visage vers une stimulation péribuccale.

² Elévation rythmique et répétée des bras et des jambes en décubitus ventral.

de gravité permet la diminution progressive de la cyphose dorsale, puis d'établir un équilibre avant/arrière et latéral. L'attitude en flexion des membres inférieurs est abandonnée en faveur d'une assise plus large. Entre 6 mois et 13 mois, l'enfant accède à la station assise indépendante après des étapes bièvements répertoriées dans le tableau I.

E	enroulé sur lui même.
T	tête et partie supérieure du dos tonique : le buste tombe sur les jambes (figure 2).
A	tient assis avec léger soutien.
P	tient assis avec ses bras en appuis en avant, dos penché en avant.
E	tient assis en s'appuyant sur ses mains.
S	tient assis seul, se penche en avant.
	se penche sur le coté.
	rotation autour de l'axe vertical.

Tableau I : Principales étapes dans l'acquisition de la station assise

- INSERER ICI FIGURE 2 -

Figure 2 : Station assise. Le buste tombe sur les jambes, l'enfant doit être calé.

3.4. Les changements de position

Une chose est de tenir assis, une autre est de parvenir seul à cette position. Le changement de position constitue une étape dans le développement postural : il nécessite en effet une coordination importante. L'enfant parvient tout d'abord à passer du décubitus dorsal à la position latérale. Il accède ensuite à la position ventrale depuis la position dorsale (7 mois), puis l'inverse (8 mois). Le passage de la position couchée à la position assise est rarement observé avant 8 mois. Le développement des modes de déplacements à proprement parler est exposé par Blandine Bril dans cet ouvrage.

3.5. Station érigée et régulation tonique tardive

Avec la marche apparaissent de nouveaux contextes perceptifs et de nouvelles contraintes environnementales : vitesse de déplacement, réduction de la surface du polygone de sustentation...

Des mécanismes plus tardifs de la régulation posturale permettent ainsi à l'enfant de progressivement se tenir debout sur un espace réduit (18 mois), grimper, courir, tourner, sauter, pédaler, résister aux pressions antéro postérieures (2 ans), se tenir sur un pied, marcher sur une poutre (3 ans), taper sur un ballon avec le pied, sauter à la corde (4 ans).

Ainsi, Assaiante et Amblard montre qu'à 3 ans, les enfants fixent leur tête par rapport au tronc pour marcher lorsque l'équilibre est précaire (sur une poutre). A 6 ans, la grande majorité des enfants utilise encore cette stratégie. A partir de 7-8 ans, en revanche, les enfants stabilisent majoritairement leur regard : ils dissocient les mouvements du tronc et de la tête, même lorsque l'équilibre est mis en danger (Assaiante & Amblard, 1993).

3.6. Les syncinésies

Le développement du contrôle tonico-postural continue bien évidemment, au delà de l'acquisition des stations assise et érigée. Jusqu'à l'âge de 10 ans, il est, par exemple, encore courant d'observer des syncinésies,

c'est-à-dire des contractions toniques sans finalité. Le psychomotricien distingue généralement les syncinésies d'imitation ou de reproduction, qui consistent en un accompagnement du mouvement d'un membre par le membre controlatéral ; et les syncinésies toniques, ou de diffusion, révélées par un raidissement et une extension du membre passif. Ces mouvements parasites persistent avec de grosses différences inter individuelles, mais au delà de 12 ans, ils appartiennent à la sémiologie des dysfonctionnements neuro-moteurs.

La segmentation du développement moteur en étapes et en catégories, telle que nous venons de le faire, est arbitraire et relève plus de la lisibilité que de la chronologie. Ainsi, l'augmentation du tonus axial va de pair avec la diminution progressive de l'hypertonie des membres et les différentes acquisitions s'organisent sur un continuum ; elles ne sont pas indépendantes les unes des autres.

3.7. Normes et trajectoire de développement

3.7.1. Age moyen et baby-test

L'observation systématique et standardisée de cohortes d'enfants a permis l'étalonnage de nombreuses échelles de développement (Vaivre Douret, 1997, pour une revue). Celles-ci, établies à des fins normatives, c'est-à-dire comme base de comparaison et d'évaluation, permettent d'obtenir des "portraits-robots instantanés" d'enfants à un âge ou un stade de développement donné. Le psychomotricien ou le psychologue obtient grâce à ces tests, un quotient ou un âge de développement, global ou partiel, pour objectiver ses observations, les comparer, ou vérifier l'efficacité d'une prise en charge au moyen de la procédure test-retest.

Les profils successifs et provisoires d'un enfant « moyen » virtuel, proposés par les échelles de développement ne sont cependant pas sans poser problèmes. Tout d'abord, la norme ne se vérifie pas toujours. Ainsi, Largo et ses collaborateurs (Largo et al., 1985) lors d'une étude d'enfants depuis la naissance jusqu'à la marche, observent que si la plupart des enfants suivent les séquences régulières du développement de la locomotion (87%), certains ont des trajectoires imprévues : pas de ramper ou de quatre-pattes (13%). Des résultats similaires (respectivement 71% et 12%) sont obtenus par Bottos et ses collaborateurs (Bottos et al., 1989). Ensuite, les variabilités inter et intra-échelle croissent avec le degré d'évolution des fonctions posturo-locomotrices : plus le fonctionnement est tardif, plus il y a de variabilité (Vaivre Douret, 1997). Enfin, le fait de grouper les observations dissimule les transitions et régressions développementales, masque certaines particularités ou compétences précoces. Ainsi, les trajectoires de développement issues d'études transversales semblent lisses et linéaires (Thelen et al., 1993 ; von Hofsten, 1989).

La limite de l'approche transversale est donc qu'elle accorde finalement plus d'importance à la fonction ou compétence étudiée qu'à l'individu qui en dispose et à la dynamique de son développement (Touwen, 1993). Si l'utilisation de baby-test est, dans certains cas, incontournable, la dispersion des âges d'acquisition est donc une donnée fondamentale dont il faut tenir compte dans leur utilisation à des fins normatives ou diagnostiques. L'approche longitudinale permet d'éviter ces inconvénients (von Hofsten, 1989).

3.7.2. Approche longitudinale et trajectoire de développement

Il peut sembler trivial de rappeler que de multiples facteurs interviennent dans les acquisitions posturales ou locomotrices. Pourtant, il en résulte que l'acquisition de certaines postures peut être précoce ou

tardive, à l'intérieur d'une évolution tout à fait normale. Les séquences de développement ne sont pas toutes équivalentes ou synchrones. De plus, le développement comporte des accidents de parcours, des régressions provisoires, parfois indépendantes des événements de la vie de l'enfant. Chaque nourrisson est ainsi un système unique qui se développe selon sa croissance corporelle, ses expériences et ses possibilités... Nombreux sont ainsi, les arguments en faveur d'une approche du développement par des études longitudinales, en terme de trajectoire et d'individualité (Touwen, 1993 ; von Hofsten, 1989 ; Zanone, 1990). Le développement postural n'est alors plus envisagé en termes de performance et d'acquisition mais plutôt en terme de fonction et de qualité.

L'étude des trajectoires de développement ne permet pas pour autant de pronostic sur les acquisitions à venir. Ainsi, si certaines caractéristiques posturales du très jeune enfant sont réputées prédire l'allure du développement psychomoteur à venir, cette perspective ne fait cependant pas l'unanimité. Illingworth se montre persuadée de la force de prédiction de l'examen précoce de l'enfant (Illingworth, 1978). Stambak définit des types moteurs contrastés et prédictifs à partir des caractéristiques toniques des enfants : les enfants hypertoniques seraient plus précoces dans leur mobilité que les enfants hypotoniques (Stambak, 1963). A contrario, Touwen défend l'idée selon laquelle il n'y a pas de lien direct entre l'examen neuro-moteur effectué à la naissance et les dysfonctionnements minimes décelés plus tard. Un développement linéaire, prévisible et monotone est pour lui, celui d'un système nerveux anormal (Touwen, 1993). Le développement postural ne suit pas un cours fixé, et ceci d'autant plus que l'enfant est considéré comme un système dont le développement est soumis à de très nombreux paramètres : la modification de l'un d'eux entraîne une modification du système en (Touwen, 1993 ; von Hofsten, 1989).

4. Mécanisme et développement de la régulation tonico-posturale

Pour réguler et ajuster sa posture, l'homme dispose d'informations visuelles, vestibulaires et somato-sensorielles. Celles-ci le renseignent sur la position de son corps dans l'espace et lui permettent de la corriger si nécessaire. En outre, l'intensité de la contraction tonique, et donc la posture est sous l'influence des émotions et de la vigilance (Ghez et al., 1993c ; Wallon, 1956). L'organisation de la posture à chaque âge dépend donc de plusieurs déterminants, de leur intégration et de leur développement (Bril & Ledebt, 1998).

4.1. Système sensoriel et contrôle de la posture

4.1.1. Action, interaction et intégration des systèmes sensoriels dans la régulation posturale

❖ Rôles sensoriels spécifiques³

Le système visuel est sensible à la direction et à la vitesse du défilement visuel global. Il est aussi indispensable à la détermination de la verticalité par rapport à la gravité, ce qu'atteste l'augmentation des oscillations et des déplacements du centre de gravité à l'occlusion des yeux (test de Romberg). L'étude de l'effet spécifique de la vision dans la régulation posturale a été étudiée par différents protocoles : le recours à

³ Une synthèse des travaux analysant l'influence des différents récepteurs sensoriels sur la régulation de la posture orthostatique est détaillée par Ghez (Ghez et al., 1993a ; Ghez et al., 1993b ; Ghez et al., 1993c) ou Massion (Massion, 1998).

l'environnement visuel stabilisé ou en mouvement (chambre mobile), à un environnement visuel asservi (lunettes à prisme).

Le système vestibulaire (trois canaux semi-circulaires et organes otolithiques) est sensible aux accélérations angulaire ou linéaire (Collard, 1994) ; il est ainsi fondamental dans le maintien de l'équilibre. L'étude de l'influence des informations vestibulaires sur la régulation posturale met en jeu des paradigmes dans lesquels des stimulations vestibulaires (électriques, caloriques ou environnementales) entraînent des modifications de la projection du centre de gravité.

Le système somato-sensoriel (proprioception et tact) informe l'homme sur la position de ses segments les uns par rapport aux autres, et par rapport à l'environnement. Le système proprioceptif est sensible à la tension des muscles et des tendons, ainsi, qu'à la pression dans les articulations. Ainsi, la stimulation des tendons par vibration induit des illusions de déviations posturales (Roll, 1994). Le système tactile détecte, quant à lui, la distribution des appuis du corps (mains, soles plantaires, dos), leur localisation et leur intensité. L'augmentation de la surface de contact entre le pied et l'environnement (avec des chaussures montantes), ou l'anesthésie locale permet d'étudier le rôle de ces réafférences.

Enfin, plusieurs études sur la sensibilité de la posture aux flux sensoriels ont montré que la présence d'un son peut aider à la régulation de la posture, et plus particulièrement en l'absence d'informations visuelles.

❖ **Les interactions sensorielles**

Dans l'environnement naturel, les informations venant des différentes modalités sont normalement congruentes. Par exemple, lors d'un déplacement corporel, le sujet perçoit un mouvement visuel de l'environnement associé à des informations vestibulaires, tactiles et proprioceptives spécifiques au mouvement propre. Afin d'étudier le poids relatif des différents systèmes sensoriels dans la régulation posturale, des études expérimentales mettent en conflit les entrées sensorielles en brisant cette cohérence.

Les interactions visuo-vestibulaires sont étudiées à partir de l'étude de la sensation de vection. Quand un champ visuel large commence à bouger de façon linéaire ou en rotation sur un axe vertical : le flux optique qu'il constitue se trouve en conflit avec les informations vestibulaires et proprioceptives du sujet (Jouen & Lepecq, 1990). Une illusion de mouvement de soi dans la direction opposée au flux se manifeste alors, la vection⁴. Des réactions posturales suivent et entraînent parfois la chute. Les informations visuelles périphériques ont ainsi le pouvoir de déclencher des réponses posturales en l'absence d'informations vestibulaires et proprioceptives (Howard, 1986).

Les interactions entre informations proprioceptive et visuelle peuvent être étudiées dans des paradigmes dans lesquels des déplacements du corps et les informations visuelles correspondantes sont dissociées (Woollacott, 1990).

De nombreuses interactions sont donc mises en évidence dans le cadre des laboratoires, et montrent que la régulation posturale est dépendante des nombreux liens intersensoriels.

❖ **De l'interaction à l'intégration**

⁴ Un exemple bien connu de cette illusion se produit en gare, lorsqu'un train adjacent démarre avant le notre.

Les récepteurs régulateurs de la posture interagissent et sont situés sur des parties du corps mobiles les unes par rapport aux autres. La perception de l'organisation du corps dans l'espace n'est donc pas un « fait sensoriel mais résulte d'une coordination sensorielle entre modalités sensori-motrices » (Mellier & Bullinger, 1999). La masse des informations à intégrer en temps réel est cependant considérable. C'est pour cette raison que la modélisation de la régulation posturale ne peut faire l'économie de la notion d'intégration sensorielle (Ghez et al., 1993c). L'intégration est la capacité de prendre en compte différentes entrées sensorielles et les faire travailler ensemble. Elle s'associe à la différenciation, c'est-à-dire la possibilité de différencier les afférences sensorielles selon leur provenance (Bril & Ledebt, 1998).

Cette intégration a d'abord été pensée comme un système privilégiant l'une ou l'autre des afférences sensorielles pour adapter la posture (Ohlmann & Brenet, 1990). Il semble à présent au contraire, qu'elle se construise (Zanone, 1990) ou que le sujet procède à une pondération entre les différents signaux (Ghez et al., 1993c). La régulation posturale résulte donc de l'intégration des signaux issus de différents systèmes sensoriels, compte tenu d'un contexte.

4.1.2. Développement des contributions sensorielles dans la régulation posturale

❖ Développement des interactions sensorielles et posture

Les systèmes tactile, vestibulaire, auditif et visuel sont fonctionnels à la naissance, même si les systèmes visuel et cutané se modifient encore après la naissance (Espenschade & Eckert, 1980). Les entrées sensorielles contribuant aux ajustements posturaux sont ainsi initiatrices de réponses précoces dans le développement : les réflexes posturaux. Le système visuel est un déclencheur du réflexe de parachute au cours duquel l'enfant, maintenu en suspension ventrale et précipité vers une surface horizontale, étend les bras vers l'avant. Le système labyrinthique est à l'origine du réflexe de redressement, mis en évidence par le maintien de la tête droite lorsque le corps est incliné. Enfin, le réflexe d'extension, déclenché en faisant porter le poids du corps sur les jambes de l'enfant est induit par les systèmes cutané et proprioceptif.

De plus, plusieurs auteurs ont observé des réactions posturales asservies à la vision (vection) de façon précoce. Une stabilisation de la tête par rapport au déplacement du corps réel ou visuellement induit a été observée chez le nouveau né (Jouen & Lepecq, 1990). Les réponses deviennent de plus en plus systématiques et de mieux en mieux coordonnées à partir de la seconde moitié de la première année (Bertenthal & Bai, 1989 ; Bertenthal et al., 1997). Des observations effectuées sur des jeunes enfants montrent que l'organisation posturale des jeunes aveugles se distingue de celle des jeunes voyants dès 2 mois-3 mois (Bullinger & Mellier, 1988). Ces observations sont cohérentes et montrent une contribution de la vision dans la régulation posturale extrêmement précoce, même si elle varierait de façon irrégulière avec l'âge (Assaiante & Amblard, 1993).

Woollacott a étudié les réactions posturales d'enfants de 5-6 mois soumis à une translation en avant ou en arrière. Lorsque les enfants ne tiennent pas assis seul, les réponses sont appropriées à la direction dans 100% des cas sans repères visuels, et 60% des cas avec repères visuels. Chez les enfants qui tiennent seuls assis, la différence entre les deux situations disparaît (Woollacott et al., 1987 ; Woollacott, 1990). Cette étude montre que l'intégration sensorielle, c'est à dire la pondération des flux sensoriels entre eux est soumise au développement et à l'expérience (Mellier, 1993).

❖ L'intégration au cours du développement

Malgré la précocité des réponses observées, la régulation posturale de l'enfant est comparable à celle de l'adulte vers 7 ans seulement (Forssberg & Nashner, 1982 ; Hirschfeld & Forssberg, 1994). C'est le processus d'intégration et de différenciation sensorielle, associé à une amélioration du contrôle moteur qui nécessite un développement plus long (Bril & Ledebt, 1998). Il s'agit, en effet, pour le système sensori-moteur d'organiser et de construire une réponse comportementale en gérant la multimodalité (Jouen, 1990). Par exemple, la mise en relation des informations visuelle et vestibulaire s'effectuerait de façon active par l'enfant assis qui se balance (Goldfield, 1993). La cohérence des flux sensoriels jouerait alors un rôle important dans le développement tonico-postural : les variations des entrées doivent être reliées de façon stable (Mellier & Bullinger, 1999).

Suivant les théories de référence, les modèles expliquant le développement des régulations posturales vont être très contrastés. Cependant, pour la majorité le développement de l'intégration sensorielle n'est pas linéaire : il y a un changement qualitatif dans les modes de contrôle de la posture et leur influence évolue jusqu'à être coordonnés chez l'adulte (Bril & Ledebt, 1998). La posture de l'enfant est d'abord contrôlée par les systèmes somatosensoriels uniquement, et jusqu'à deux mois. Le contrôle visuel deviendrait ensuite prédominant jusqu'à 4 ans (Woollacott et al., 1987). Entre 4 et 6 ans, le processus de régulation de la posture deviendrait sensible aux informations proprioceptives et visuelles coordonnées (Assaiante, 1998 ; Shumway-Cook & Woollacott, 1985).

4.2. Tonus et vigilance

Chez l'adulte, l'effet de la vigilance sur la régulation de l'équilibre a été montrée de nombreuses fois (Ghez et al., 1993a ; Ghez et al., 1993b ; Ghez et al., 1993c). La relation entre tonus et vigilance est aussi très marquée chez le jeune enfant. L'état tonico-vigile du petit enfant est ainsi défini lors de l'observation de son activité motrice ou de son examen neuromoteur.

Prechtl a développé une classification des états de vigilance du nourrisson en 5 catégories (Prechtl, 1974). Cette échelle peut être, selon Le Métayer utilisée jusqu'à 6 mois pour caractériser l'état d'un enfant (Le Métayer, 1989).

Etat	Description
1	yeux fermés, respiration régulière, pas de mouvements
2	yeux fermés, respiration irrégulière, pas de mouvements
3	yeux ouverts, peu de mouvements
4	yeux ouverts, beaucoup de mouvements
5	yeux ouverts ou fermés, l'enfant crie

Tableau 2 : Classification des 5 états de vigilance (d'après Prechtl, 1974).

Les états de vigilance sont ainsi caractérisés par des états toniques et une sensibilité différente aux signaux extérieurs à l'organisme. La répartition tonique des enfants diffère aussi suivant les phases de sommeil et les passages d'un état de vigilance à l'autre. Lors de la transition d'une phase de veille à une phase de sommeil chez l'enfant en décubitus, le visage se tourne sur le côté, les bras sont posés, les mains sont ouvertes et les

jambes reposent en abduction, vers l'extérieur. Durant la phase de sommeil 1, les bras sont fléchis et les jambes sont symétriques en adduction (Goldfield, 1993).

4.3. Émotion et posture

Le tonus soutient le geste mais exprime aussi la satisfaction ou le malaise du sujet. Ainsi, au delà de la régulation sensorielle stricte, il est à notre sens important d'envisager la régulation posturale comme soumise aux émotions.

4.3.1. Lien entre tonus et émotion dans le développement précoce

Pour Wallon, le lien entre le tonus et l'émotion se construit de façon précoce. La fluctuation des émotions est ainsi tout d'abord sous la dépendance des variations du tonus.

Durant le stade de l'impulsivité motrice (0 - 3 mois), les décharges toniques mélangent réactions toniques et cloniques auxquelles le milieu réagit de façon adéquate. Dans un deuxième temps (stade émotionnel), la correspondance entre émotion et expression posturale est établie : le bébé réagit par mimétisme aux mouvements du partenaire (imprégnation sensitivo-motrice). Lors d'un troisième stade (stade sensori-moteur) s'élabore l'identité de soi et d'autrui. C'est la fonction expressive posturale des émotions (Wallon, 1956). La régulation tonique n'est donc pas une propriété de l'organisme. Elle se développe dans l'interaction avec le milieu humain (Bullinger, 1998).

4.3.2. La posture comme moyen d'expression

Les liens construits entre tonus et émotion permettent la communication, c'est le dialogue tonique. Ajuriaguerra attribue ainsi à l'hypertonie une signification de déplaisir et à l'hypotonie la quiétude, base de la communication tonico-émotionnelle. Widmer et Tissot (Widmer & Tissot, 1981), lors d'une étude sur les modes de communication du bébé, catégorisent les postures, mouvements et états toniques des nourrissons du point de vue de leur signification.

- ❖ Acceptation du contact. L'enfant est détendu et épouse les formes du support. Cette posture est fréquente chez l'enfant de deux mois. A 2-3 mois, la tête est moins souvent posée sur le partenaire. Entre 5 et 6 mois, le bébé est actif (explore). A 6 mois, cette posture est accompagnée d'interactions et d'explorations de l'adulte.
- ❖ Évitement du contact. L'enfant maintient ou rétablit une distance. A 2 mois, l'attitude globale est en extension. A 5 mois, c'est une alternance de flexion et d'extension de tout le corps ou de l'extension d'un membre ou de la tête contre le corps de l'adulte. Vers 6 mois, l'enfant parvient à maintenir son buste à un écart constant de l'adulte, au risque de se déséquilibrer.
- ❖ Contrôle ou maîtrise de l'interaction. C'est l'acceptation conditionnelle de l'interaction avec contrôle de la distance et de la proximité. A 3-4 mois, l'enfant pratique un maintien tonique de la distance avec l'adulte (saisit un vêtement ou partie du visage à bout de bras). Plus tard, cette distance est modulée, à l'initiative de l'enfant par une succession de flexion / extension.

- ❖ Expression de malaise. Chez les plus jeunes, le malaise est exprimé par des mouvements de décharge puis par des mouvements brusques de tête.

L'émotion et la communication occupent donc une place tout à fait prépondérante dans l'organisation tonique et posturale de l'enfant, et ceci tout particulièrement lors des interactions.

4.4. Conclusion

La régulation tonique n'est pas seulement une propriété organique des muscles mais implique des déterminants de plusieurs ordres, en interaction avec le milieu. D'un point de vue strictement sensoriel, la vue, le tact, la proprioception et le système vestibulaire interviennent dans la saisie des informations relative à la position du corps dans l'espace et à l'équilibre. De plus, l'efficacité de ces différents sens doit être envisagée compte tenu d'un état d'éveil déterminé. Enfin, l'état émotionnel est aussi un déterminant de l'attitude et de la répartition du tonus. La posture ou répartition tonique est ainsi fortement dépendante des caractéristiques du sujet, de son développement, ses expériences, son état émotionnel et de l'environnement.

5. Trois perspectives sur l'organisation et le développement de la posture

5.1. La perspective maturationniste

5.1.1. Principes fondateurs

L'approche maturationniste est directement issue d'une perspective essentiellement neurologique et médicale de la motricité et du développement. La maturation est envisagée comme principe explicatif et régulateur du développement, c'est un facteur intrinsèque fondamental, tout particulièrement au début de la vie (Gesell & Ilg, 1967).

Le développement moteur est identifié à la croissance des systèmes biologiques et à comprendre comme une succession de capacités dépendantes des changements neuromaturationnels. Le mouvement est tout d'abord réflexe et inorganisé puis l'influence inhibitrice du cortex se manifeste en suivant les lois de développement céphalo-caudale et proximo-distale. La vitesse de conduction et des traitements centraux sont aussi responsables du développement des réponses posturales (Hirschfeld & Forssberg, 1994)

La première année est dominée par ce phénomène : la maturation limite les possibilités de l'enfant. A partir de 3 mois, le milieu commence à affirmer son rôle et apporte des expériences et des apprentissages, joue sur la qualité des acquisitions fonctionnelles (Saint Anne Dargassies, 1982). Les maturationnistes radicaux voient dans la deuxième année de la vie une prise de pouvoir des fonctions supérieures sur les réflexes, et l'apparition de la volonté et finalité du mouvement. Cette perspective théorique défend des principes éducatifs respectant le rythme évolutif de l'enfant, car l'entraînement n'est pas indispensable. Le développement est ainsi quasi indépendant des effets d'exercice avant l'âge de deux ans.

Illingworth synthétise cette perspective en dénombrant 6 principes dans le développement : 1) c'est un processus continu de la conception à la maturité, 2) les séquences en sont identiques pour tous les enfants, 3) il

est lié à la maturation, 4) il autorise l'individuation des réponses⁵, 5) il progresse selon la loi céphalo-caudale, 6) les réflexes doivent disparaître pour qu'apparaisse le mouvement volontaire (Illingworth, 1978) .

5.1.2. Échelles de développement et baby-tests

Les compétences posturales puis motrices sont, au même titre que les réflexes, considérées comme un témoins de la maturation. Le développement moteur est envisagé comme une accumulation de performances, il s'organise de façon séquentielle⁶ correspondant à un ordre de maturation.

Gesell a codifié des normes de développement et standardisé des tests précis, simples et évolutifs précisant par des dates précises l'apparition des acquisitions. De nombreux tests et échelles de développement sont issues de cette perspective, ils rendent compte d'un niveau de développement global qui est fonction de l'âge. Ces tests fournissent une sorte de calendrier des acquisitions, une norme de développement (Vaivre Douret, 1997).

5.1.3. Modélisation de l'organisation et du développement postural

En 1994, Forssberg et Hirschfeld publient un modèle de l'organisation de la posture. La théorie du générateur central de patterns (central pattern generator, CPG) postule que la régulation posturale provient d'un générateur à deux niveaux. Le premier niveau permet l'activation de pattern de réponse posturale d'un point de vue spatial. Il fournit le schéma d'ensemble et de base, le pattern postural global. Le second niveau prescrit l'ordre et l'amplitude d'activation des différents patterns. Il est déterminé par l'intégration sensorielle et introduit des modifications au premier niveau, en fonction des paramètres externes et internes (vestibulaires, visuels, somatosensoriels). Des mécanismes centraux produisent ensuite l'activité musculaire appropriée (Forssberg & Hirschfeld, 1994 ; Hirschfeld & Forssberg, 1994).

D'un point de vue développemental, la différence des réponses entre l'adulte et l'enfant est due à la fois à la maturation et à l'expérience. Le premier niveau est inné, son développement est directement lié à la croissance du système nerveux central : vitesse de conduction et de transmission neuronale. L'enfant naît avec un nombre de connections innées et prédéterminées. Le second niveau, plus fin et flexible, est sensible à l'expérience qui sélectionne ou affine des patterns musculaires pré existants (Hadders-Algra et al., 1996a). Ce modèle laisse donc une place à l'acquisition tardive de compétences par des mécanismes épigénétiques (Hirschfeld & Forssberg, 1994).

Hadders-Algra et son équipe s'intéressent ainsi à la structure des ajustements posturaux associés à l'acquisition de la station assise. Vers 5-6 mois, les patterns de réponse posturale associés à une perturbation sont très variables en amplitude et peu synchronisés. Lorsque l'âge augmente, ces patterns deviennent moins variables. Vers 9-10 mois, les patterns de réponse à la perturbation sont générés de façon centrale, coordonnés à la vitesse et la position initiale de l'enfant. Ces synergies musculaires fixées tendent à se dissoudre entre 9 mois et 3 ans, c'est-à-dire à l'âge où l'enfant forme et automatise la marche (Hadders-Algra et al., 1998). Les enfants

⁵ Les réponses motrices sont globales au début du développement puis elles deviennent plus localisées.

⁶ Par exemple, le mouvement de planeur (élévation rythmique et répétée des bras et des jambes en décubitus ventral) s'arrête au moment de l'apparition du ramper.

disposent donc, avant tenir assis, de patterns de réponses posturales à la perturbation en terme de direction et l'expérience permet leur réglage en terme d'amplitude et de timing (Hadders-Algra et al., 1996a).

5.1.4. Développement et influence du milieu

Si le développement de la connectivité neuronale et du comportement moteur sont fortement canalisés par des processus spécifiques à l'espèce (séquences du développement posturo-moteur), les mécanismes épigénétiques ne sont donc plus exclus par les maturationnistes (Hirschfeld & Forssberg, 1994).

Ainsi, l'organisation de l'ajustement postural accompagnant le mouvement de saisie est en partie préstructurée : l'enfant dispose d'un répertoire de synergies musculaires innées, mais celui-ci évolue en fonction du renforcement de certains liens et de l'affaiblissement d'autres (cf. figure 3) (Hadders-Algra et al., 1997 ; van der Fits & Hadders-Algra, 1998b).

De la même façon, les enfants de 5-6 mois ont des patterns de réaction moins coordonnés lorsqu'ils ne tiennent pas assis seul par rapport à ceux qui tiennent assis seul (Hadders-Algra et al., 1996a). La présentation quotidienne d'objets aux enfants, dans une zone accessible lorsqu'ils sont assis, est un entraînement qui modifie l'organisation des réactions posturales à la translation à 7-8 mois (Hadders-Algra et al., 1996b ; Hadders-Algra et al., 1998). Inversement, une étude comparant des enfants IMC avec groupe contrôle sur plate forme montre que leurs patterns d'ajustement sont peu modulables, même si ils sont d'orientation spécifiques (Brogren et al., 1998).

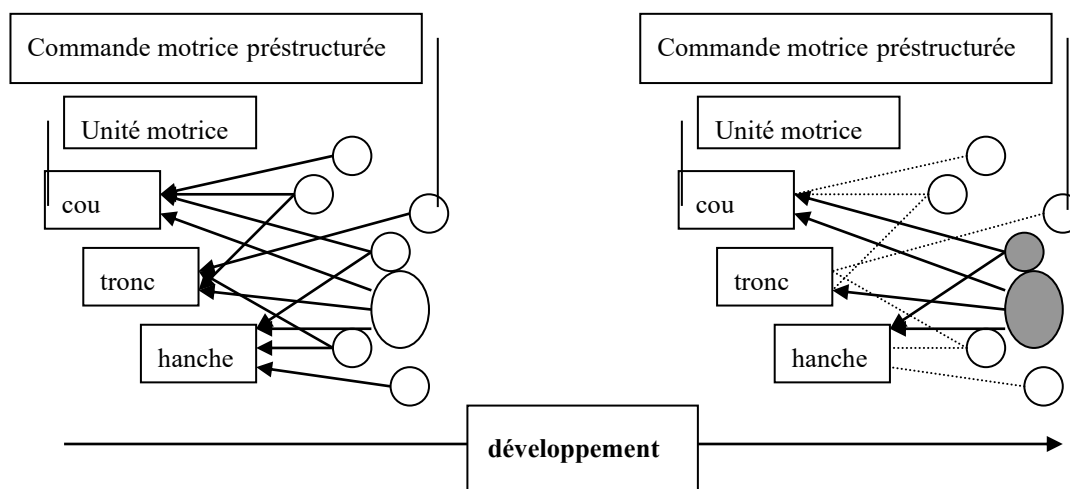


Figure 3: Effet du développement sur l'organisation des synergies posturales (d'après Hadders Algra, 1997).

Enfin, les patterns de réponse d'enfants sachant marcher ou ne sachant pas marcher sont différents lorsque ceux ci sont soumis à une translation lorsqu'ils sont debout. Les enfants qui maîtrisent la marche montrent des patterns de réponse moins variables et mieux coordonnés.

5.1.5. Remarques

Les travaux conduits par les premiers maturationnistes ont eu une importance fondamentale à leur époque pour la rigueur de leurs observations et l'aspect précurseur de leurs publications (Gesell, 1954). Ils restent

cependant le symbole d'une attitude « naturaliste » où le chercheur répertorie en les décrivant les comportements qu'il observe, sans chercher à les expliquer ou à pénétrer la dynamique du développement.

La maturation des réseaux de neurones est envisagée comme un arbre dont la morphologie est propre à l'espèce, sans que les ramifications soient identiques. Le modèle de Hirschfeld et Forssberg, bien qu'issu de la même perspective, pose autrement des questions qui semblaient résolues par cette perspective concernant : 1) les lois de développement céphalo caudal et proximo distal (Hadders-Algra et al., 1996a), 2) les normes d'acquisition et les différences inter-individuelles (Hadders-Algra & Prechtel, 1992b) et 3) le problème du degré de liberté soulevé par Bernstein (Hirschfeld & Forssberg, 1994).

Cette perspective, attribuant à la maturation un rôle prépondérant, rencontre cependant des difficultés à interpréter plusieurs phénomènes. Tout d'abord, les observations effectuées sur le prématuré posent la question de la continuité du développement (Mellier, 1993). Par exemple, une comparaison entre enfants prématurés et enfants nés à terme montre que la sensibilité vestibulaire est liée à la durée de vie extra-utérine, et donc à la durée du contact avec l'environnement (Lannou & Caston, 1981). Ensuite, plusieurs expériences montrent que l'environnement a une influence très précoce sur les réponses motrices : entre le 2nd et 7^{ème} jour de vie, il y a des différences entre les nourrissons dans l'orientation de la tête par rapport à une voix, selon le mode d'alimentation au sein ou au biberon. Chacun a une expérience sonore différente (Alegria & Noirot, 1978). Enfin, cette perspective échoue à expliquer l'importante variabilité des patterns moteurs observés dès la naissance, suivant les modulations de l'environnement (Thelen, 1989 ; Thelen et al., 1987).

5.2. La perspective dynamique non linéaire

5.2.1. Bases théoriques et organisation motrice

La perspective dynamique est issue à la fois de l'approche écologique Gibsonnienne et de celle de Bernstein (Zanone, 1990).

Selon la théorie de Gibson, l'action est directement issue de la rencontre perceptive entre le sujet et l'objet. Les propriétés de l'objet sont directement perçues en fonction des actions applicables sur lui, c'est le principe d'affordance. Le geste émerge ainsi d'une interaction entre l'environnement et l'organisme. Cette théorie résout de cette façon la question du traitement des informations de l'environnement. La perspective de Bernstein (1967) quant à elle, aborde le problème de la complexité musculaire et squelettique par les concepts de degré de liberté⁷, et de synergie⁸. La synergie permet d'ordonner le comportement d'un point de vue spatio-temporel et d'abandonner l'idée d'une activation individuelle de muscles, elle nécessite moins de contrôle et offre à la fois stabilité et flexibilité (Thelen et al., 1987).

Selon la perspective dynamique non linéaire, un organisme, quel que soit son état initial, est toujours orienté vers un état stable et stationnaire appelé « attracteur » du comportement du système. L'attracteur résulte d'une interaction entre l'environnement et l'organisme. Lors d'un déséquilibre, le système devient actif, chaotique, puis, retrouve un attracteur : soit l'initial si le système est stable, soit un autre et c'est une transition de phase, si le système est flexible (Zanone, 1990).

⁷ Nombre de paramètres à contrôler pour exécuter un mouvement.

⁸ Ensemble de composants neuromusculaires est groupé en unité fonctionnelle spécifique à la tâche.

Cette perspective constitue une rupture épistémologique dans le compréhension du développement posturo-moteur, en associant perception directe et synergie, il se détache de la notion de programmation motrice et de contrôle moteur central. Le système moteur fluctue autour d'équilibres et l'auto-organisation permet d'expliquer l'accès à de nouvelles formes motrices. Le comportement est vu comme une propriété émergente auxquels les éléments variés de l'organisme ont contribué.

Les recherches analysent les contraintes qui pèsent sur le changement de phase, les relations entre l'environnement et le comportement de l'organisme et ses caractéristiques (masse, raideur, amortissement, position d'équilibre de muscle), les relations entre les vitesses et les amplitudes de mouvements.

5.2.2. Le développement de la posture

L'enfant naît avec des possibilités de coordination : il produit des mouvements rythmiques ayant une organisation synergique et temporelle importante. Ces synergies se coordonnent peu à peu puis sont transformées en action adaptative (Thelen & Spencer, 1998).

Le mécanisme du développement est la succession des attracteurs. L'environnement et les caractéristiques du sujet suffisent à modifier les patterns moteurs au cours du développement. Ainsi, la maturation et le développement des systèmes perceptif, neuro-musculaire et squelettique, la coordination entre des groupes musculaires sont autant de paramètres de contrôle qui entraînent l'émergence graduelle d'habiletés motrices

Le développement postural n'est donc pas linéaire. C'est une série de changement d'états, de la stabilité à l'instabilité dans un univers d'attracteurs.

Thelen montre en 1987 que la dynamique du « stepping⁹ » peut être modifiée chez des enfants de 6 semaines. L'ajout de poids à une jambe entraîne plus de mouvement sur l'autre pied, et modifie la cinématique du mouvement. La dynamique du membre non lesté est aussi modifiée par le lestage de l'autre. Dans l'eau, les mouvements tendent à être plus amples (Thelen et al., 1987). L'environnement définit donc les conditions d'apparition du mouvement.

De plus, les proportions corporelles et le rapport de masses musculaires et graisseuses évoluent de façon importante de la naissance à l'âge adulte, modifiant les paramètres de la dynamique (Espenschade & Eckert, 1980). La forme de l'organisme participe donc aussi à la modification des attracteurs au cours du développement.

Les modifications du comportement interviennent de façon abrupte, discontinue en fonction du réglage progressif des valeurs de paramètres et sont liées à un changement d'état général du système.

5.2.3. Remarque et critiques

La théorie des systèmes dynamiques constitue un cadre interprétatif rejetant les positions maturationnistes. De même, l'organisation du mouvement ne requiert ni programme moteur, ni processus cognitifs, parce qu'il y a des relations coopératives et synergiques entre les composantes neurales, musculaires et

squelettiques. Le geste est auto-organisé. Ce point de vue, note Zanone (Zanone, 1990), n'implique pas que le comportement moteur est indépendant de l'intention ou bien stéréotypé : les transitions de phase peuvent être volontaires.

L'analyse du développement dans cette perspective privilégie largement les analyses longitudinales et la variabilité du développement (Thelen, 1989 ; Thelen & Spencer, 1998 ; Zanone, 1990). Les études se centrent sur l'individu dans son interaction avec un contexte déterminé. Ce modèle permet d'expliquer la non linéarité du développement et la variabilité des observations.

Récemment, Bril note que développement moteur de l'enfant peut être aussi envisagé, en plus des changements des paramètres, par les relations entre ces paramètres. Le développement du contrôle postural se ferait par deux phases : une phase d'intégration des informations sensorielles puis une phase de réglage. Le développement est donc dépendant aussi de la fonctionnalité des différents systèmes sensoriels (Bril & Ledebt, 1998). De même, Bushnell propose en 1993 d'envisager le développement cognitif comme un paramètre de contrôle du développement posturo-moteur (Bushnell & Bourdreau, 1993).

La perspective dynamique non linéaire présente l'avantage de tenter d'expliquer de nombreuses différences inter et intra individuelles et la discontinuité du développement. L'environnement y occupe une place importante, sans pour autant négliger la maturation. Cependant, il se heurte encore à quelques difficultés d'interprétation. Tout d'abord, les paramètres corporels à l'origine du développement changent trop lentement pour expliquer la prodigieuse rapidité du développement moteur. De plus, les transferts d'apprentissage de mouvement d'un membre à l'autre, par exemple, ne sont actuellement pas explicables sans le recours à la notion de programme moteur généralisé (Schmidt & Lee, 1999) : il y a similarité de mouvement (isochronie) alors que l'environnement et l'organisme sont différents. Enfin, la question de l'anticipation dans l'exécution motrice, pourtant fondamentale dans l'organisation du mouvement, n'est pas résolue (von Hofsten, 1989).

5.3. Les théories prédictives

5.3.1. Cognition et mouvement

Le terme de théorie prédictive ou prescriptive (Savelsbergh, 1993) est générique et regroupe les théories qui envisagent l'acte moteur comme s'inscrivant dans un contexte perceptif, avec des processus mentaux sous-jacents, et résultant d'une planification¹⁰, d'où la notion de sensori-motricité.

Les actions ne sont jamais déclenchées isolément : elles sont préparées, planifiées, orientées (von Hofsten, 1990 ; von Hofsten, 1993a). Les actes moteurs sont ainsi différenciés en fonction de leur contexte perceptif et environnemental et de leur signification (Mellier & Bullinger, 1999).

Selon la théorie des schémas, un programme moteur spécifique, activé avant l'initiation du mouvement est associé à chacun des mouvements que le sujet peut produire (Schmidt & Lee, 1999). Ce programme ou schéma de rappel est actualisé en fonction des objectifs et du contexte perceptif. Le contrôle du mouvement se fait par feed-back, compte tenu de l'anticipation des conséquences sensorielles et cognitives de l'action, par le schéma

⁹ Extension et flexion synchronisée des jambes. Entre 1 et 4 mois, la dynamique de ce mouvement se modifie naturellement. Il y a perte de la coordination entre les cycles des deux jambes.

¹⁰ Théories instructionnelle, représentationnelle, instrumentale, computationnelle ou cognitive...

dit « de reconnaissance ». Ce modèle nécessite ainsi, la définition d'une mémoire motrice et de représentation motrice (Hauert, 1995).

5.3.2. Points de vue sur le développement de la posture

Les mécanismes du développement posturo-moteur sont à la fois les changements perceptifs, corporels mais aussi cognitifs. Les conduites du bébé sont, dans cette perspective, en plus d'indices neurologiques, des signes d'une organisation cognitive (Mellier, 1990). Le développement du mouvement est étudié dans ses liens d'ensemble avec le développement psychologique.

Les études développementales consistent à dater globalement l'émergence des actions motrices, à explorer la plasticité de leur expression et à définir leur filiation. Pour le domaine de la régulation tonique et posturale, il s'agit d'une révision conceptuelle par rapport aux théories maturationnistes.

L'exercice et l'environnement sont envisagés comme jouant un rôle clé dans le développement. Ainsi, les prématurés traitent dans certains cas l'environnement à la manière du nouveau né, au délai d'exercice près (voir, pour une revue de ces questions (Mellier & Bullinger, 1999). Ainsi, un milieu « dystimulant », c'est-à-dire ayant peu de cohérence dans ses apports sensoriels, pourra être préjudiciable au nourrisson ou au prématuré (Mellier, 1990).

Les compétences cognitives sont aussi directement impliquées dans le développement moteur. Ainsi, Von Hofsten précise par exemple, que le développement de l'action est plus lié aux possibilités de contrôle prospectif qu'à l'émergence même de ce contrôle. L'amélioration de celui-ci se ferait au travers de l'acquisition de connaissances (von Hofsten & Ronnqvist, 1993b).

❖ La perspective instrumentale

L'organisme du bébé est engagé dans sa globalité, avec plusieurs systèmes sensori-moteurs dans une même situation : matériel sensori-moteur redondant, indispensable à la coordination et à la transformation des conduites. L'activité se met en place pour élaborer des représentations sur l'espace, les objets et l'organisme. Par un effet réciproque, il y a « auto organisation » du développement (Bullinger, 1996).

Le bébé dispose à la naissance d'un ensemble de fonctionnements prédéterminés, responsables des premiers échanges avec l'environnement. Ainsi, le répertoire de base des postures du nourrisson peut être considéré comme des états d'équilibre autour duquel le bébé s'organise. A partir de ces postures se déterminent des espaces privilégiés. Une posture asymétrique comme la « position de l'escrimeur » privilégie l'orientation vers les objets en déterminant des espaces gauches et droit disjoints et le bras étendu stabilise le regard, préparant au pointage (Bullinger, 1996 ; Bullinger, 1998).

L'enfant passe ainsi d'une mobilisation corporelle globale à une instrumentation sensori-motrice de l'activité. Par exemple, l'instrumentation de la vision correspond au moment où l'information visuelle est utilisée pour réguler la posture, c'est à ce moment, c'est-à-dire vers 2 mois, que la différence entre les enfants aveugles et voyants apparaît (Bullinger & Mellier, 1988).

Enfin, le développement tonique peut être aussi, compte tenu de ses implications relationnelles et sa modulation, partagé avec le milieu (Bullinger, 1998).

❖ Un modèle de développement modulaire du contrôle postural

Assaiante présente en 1995 (Assaiante & Amblard, 1995) un modèle de contrôle de la posture ayant deux principes fonctionnels : un cadre de référence pour organiser le contrôle de l'équilibre (sujet ou verticale gravitaire) et la maîtrise graduelle du degré de liberté des articulations du corps. Cette perspective modulaire envisage le contrôle postural comme celui d'une surimposition de modules. Le développement du contrôle postural consiste en une possibilité de contrôle d'un nombre croissant de segments (développement céphalo-caudal).

Elle définit 4 périodes : une première période, jusqu'à la marche (2 ans), puis une suivante jusqu'à 6 ans, puis après 7 ans. La dernière phase débute après l'adolescence, à l'entrée dans l'âge adulte, il y a alors une indépendance dans le contrôle des différents segments. Les indices sensoriels pris en compte durant l'ontogenèse pour le maintien de la posture évoluent. L'évolution au cours de l'ontogenèse consiste au passage d'un contrôle "en bloc" des différents segments, à un contrôle articulé de la posture, tardif dans le développement (Assaiante, 1998).

5.3.3. Conclusion

La question de l'anticipation et de la prédiction dans l'action motrice est centrale dans ces perspectives et c'est pour cette raison uniquement que ces théories sont regroupées. C'est ainsi la finalité et les moyens d'accéder au but fixé qui sont les moteurs du développement. Ainsi, par exemple, le changement de position constitue une étape dans le développement postural car il nécessite une coordination motrice importante, mais surtout un projet et la mise en œuvre de moyens pour y parvenir.

Pour von Hofsten, le mouvement est une dynamique entre l'environnement et l'organisme, orientée dans le futur, et ceci est une base des propriétés du mouvement à tous les âges (von Hofsten, 1993a ; von Hofsten & Ronnqvist, 1993b). Cependant, cet auteur, dans une perspective perception/action, ne fait pas de distinction entre les processus sensoriels et moteurs.

Pour Bullinger, il s'agira plutôt d'une intégration et d'une coordination des différentes entrées sensorielles par l'expérience intermodale qui va permettre d'élaborer des représentations sur l'espace, les objets et l'organisme et d'anticiper les signaux sensoriels à venir (Bullinger, 1998). Mellier et Bullinger synthétisent cette perspective en envisageant l'enfant comme se développant à l'intérieur d'un équilibre sensori-tonique, définit par les milieux physique, biologique et humain. Cet équilibre se trouve conforté par l'expérience et l'anticipation (Mellier & Bullinger, 1999).

5.4. *Faits et théories, une conclusion*

5.4.1. La différence des points de vue : l'exemple du statut du réflexe archaïque

La valeur et le sens attribués aux faits observés varient suivant les obédiences théoriques des chercheurs. Pour illustrer cette différence de points de vue, nous allons envisager ceux portés sur le développement des réflexes et de leur rôle dans l'organisation du mouvement (Hay, 1985). Les réflexes archaïques font partie des éléments évalués lors de l'examen neurologique du nouveau-né. Ils ont pour caractéristique de disparaître au cours de la première année. Ces réflexes ont parfois une grande proximité

morphologique avec un mouvement volontaire (grasping, marche automatique), ce qui alimente de nombreuses questions sur leur valeur fonctionnelle et sur leur filiation.

Pour les maturationnistes, le lien entre mouvement volontaire et réflexe n'est généralement qu'apparent (Saint Anne Dargassies, 1982). Les mouvements précoces doivent ainsi disparaître pour que s'installe la motricité orientée et volontaire (Ajuriaguerra de, 1978). Plus récemment, c'est surtout l'absence de lien fonctionnel entre réflexe et mouvement volontaire qui est pointée. Par exemple, la marche automatique et la locomotion n'ont en commun que leur forme, l'une est un mouvement rythmique isolé et l'autre est une construction motrice et maturationnelle. De même, la motricité globale du nourrisson passe progressivement, entre 2 et 18 semaines, de mouvements lents de « torsion », à des mouvements plus brefs et moins amples, comparables à ceux de l'adulte (Hadders-Algra & Prechtel, 1992a). Le développement du mouvement volontaire n'est ni ralenti, ni amélioré par la coexistence du réflexe, il y a au moins deux mécanismes neuronaux et les modules fonctionnels parallèles responsables des changements de forme des mouvements généraux du nourrisson (Hadders-Algra & Prechtel, 1992a ; Touwen, 1993).

Pour les développementalistes, le lien entre réflexe et mouvement volontaire existe : les grandes organisations toniques s'appuient sur des réflexes posturaux. Par exemple, la position de l'escrimeur (figure 1) fabrique deux organisations toniques liées à deux types de mouvements : symétriques ou non entre les membres droits et gauches. En outre, le bras étendu place la main dans la zone de vision focale, et c'est cette main qui assurera plus tard les conduites de pointage (Bullinger, 1998). La marche automatique peut être entretenue et cet exercice influe sur la qualité de la marche (redressement du buste, régulation de l'équilibre) (Zelazo et al., 1993). Cet entraînement améliore aussi la réaction des enfants à la falaise visuelle (Bloch, 1987). Enfin, Grenier alimente encore le débat avec sa célèbre motricité libérée, interprétée comme une action finalisée précoce (Grenier, 1981). Pour ces différents auteurs, les actions sont orientées dès la naissance, et ne s'ancrent pas dans l'activité réflexe.

Les théories dynamiques envisagent, quant à elles, un lien direct entre réflexe et mouvement volontaire. Les mouvements du nouveau-né vont se coordonner et permettre le mouvement volontaire : le rythme des pédalages et des coups de pieds est celui que l'on retrouvera dans l'activité de la marche. La disparition de cette forme motrice ne correspond pas à une maturation neurologique mais à un changement morphologique : le bébé arrête l'activité pour une question de masse corporelle (contraintes biomécaniques). Si l'environnement le permet, l'activité peut reprendre : lorsque l'enfant est plongé dans l'eau par exemple (Thelen et al., 1987).

5.4.2. Conclusion

Cette dichotomie entre les différentes théories est quelque peu caricaturale et beaucoup de nuances n'ont pas été développées ici. Certains consensus méritent donc d'être envisagés.

Les caractéristiques de base de l'ajustement postural sont présentes dès que les nouvelles habiletés motrices se développent (saisie, station assise ou érigée) mais sous des formes primaires, largement différentes de leur forme mature (Gramsbergen & Hadders-Algra, 1998).

Le système nerveux central, pour réduire le degré de liberté, c'est-à-dire la redondance des possibilités de mouvement, a recours à des synergies (Bernstein, 1967). Celle-ci sont adaptées à la fois aux contraintes

extérieures, mais aussi aux propriétés biomécaniques du corps (Brogren et al., 1998). Le principe de la synergie est répandu dans les trois (Hadders-Algra et al., 1997 ; von Hofsten & Ronnqvist, 1993b ; Zanone, 1990) ; il permet de rendre compte, d'une façon efficace, à la fois de la stabilité et de la flexibilité de l'organisation posturale.

Enfin, la question qui divise ces perspectives n'est plus de distinguer l'inné de l'acquis. Le développement du réglage postural résulte à la fois de déterminants maturationnels (vitesse de conduction et connectivité neuronale, croissance osseuse et musculaire...) et environnementaux (entraînement spécifique, interaction avec le milieu). Le développement doit être regardé comme le déploiement de fonctions potentielles, compte tenu d'un contexte ou d'un environnement (Goldfield, 1993 ; Gramsbergen & Hadders-Algra, 1998 ; Hadders-Algra et al., 1998).

Les différences les plus importantes entre ces théories résident actuellement dans ce qui constitue le moteur du développement. Les résultats et faits observés concernant le développement postural sont interprétés dans des cadres théoriques globaux et différents. Pour chacun des modèles, les auteurs tentent de modéliser « l'horlogerie interne » qui gouverne le déroulement chronologique de ces modifications. Pour théories prescriptives, les métaphores s'inspirent de l'opposition homme/machine, et l'approche dynamique est soutenue par la synergie acteur/environnement (Savelsbergh, 1993).

6. Contrôle tonique et coordination motrice : exemple de l'ajustement postural anticipé

6.1. *Posture et anticipation*

Une des problématiques actuelles développée autour de la notion de posture porte sur ses liens avec le mouvement volontaire. En effet, le mouvement, bien que s'effectuant avec le support du corps est pour celui-ci source de perturbation ; c'est pourquoi il nécessite une préparation tonique coordonnée : la posture. Le système moteur doit donc à la fois fixer et agir (Corraze, 1987 ; Massion, 1984). La posture est la composante obligée du mouvement, elle s'y associe en le précédant, l'accompagnant et lui succédant.

Les ajustements posturaux ne sont pas tous identiques et il convient de distinguer les ajustements posturaux consécutifs et les ajustements posturaux anticipés (anticipatory postural adjustment ou APA ; Bouisset & Zattara, 1987 ; Massion, 1992). Les premiers sont des réactions posturales dépendantes des rétroactions visuo-vestibulaires et kinesthésiques (feedback) lorsque l'équilibre est soudainement perturbé, par exemple. Les ajustements posturaux anticipés ont pour particularité d'apparaître avant l'exécution d'un mouvement volontaire, c'est à dire avant le déséquilibre, en proaction (Hugon et al., 1982).

6.2. *Caractéristiques des ajustements posturaux anticipés*

Le rôle de l'ajustement postural anticipé est de 1) minimiser la perturbation lié au mouvement en terme d'équilibre et d'orientation, 2) préparer le mouvement au niveau postural et 3) assister le mouvement en terme de force et de vitesse (Massion, 1998).

De nature dynamique, les ajustements posturaux anticipés sont en quelque sorte des mouvements à part entière, qui s'effectuent dans le sens inverse de la perturbation à venir. Ils sont issus d'une organisation nerveuse qui intègre les forces musculaires liées à l'exécution du mouvement et aux exigences de la tâche. Leur initiation

précède le mouvement volontaire, ils sont donc de nature anticipée et proactive. L'APA varie en durée, en amplitude et en orientation, selon le mouvement qu'il précède et ses conséquences sur la posture du sujet (Aruin & Latash, 1995 b ; Scholz & Latash, 1998 ; van der Fits et al., 1998a).

6.2.1. Les paradigmes d'études de l'ajustement postural anticipé

L'APA a été largement étudié grâce à différents paradigmes. Des tâches globales, impliquant tout ou partie du corps sont par exemple exploitées : soulèvement ou lâcher d'un objet volumineux en position debout (Aruin & Latash, 1995 b ; Cordo & Nashner, 1982 ; Scholz & Latash, 1998 ; Toussaint et al., 1998). Les coordinations bimanuelles comme le lestage ou le délestage d'une main par l'autre constitue un autre moyen très souvent utilisé pour étudier les ajustements posturaux anticipés. Dans ces paradigme dits de « délestage bimanuel » ou « du garçon de café » (figure 4), l'activité posturale est réservée à un bras et le mouvement volontaire à l'autre (Bennis et al., 1996 ; Hugon et al., 1982 ; Johansson & Westling, 1988a ; Lacquaniti & Maioli, 1989b). Généralement, une condition active, où le sujet produit un mouvement (décharge ou charge de la main controlatérale), est comparée à une condition passive, où l'action est effectuée par l'expérimentateur, le sujet ne disposant d'aucun indice contextuel ou presque lui permettant d'anticiper précisément la perturbation à venir.

- INSERER ICI FIGURE 4 -

Figure 4 : Paradigme du garçon de café : lestage ou délestage d'un plateau.

Dans tout ces travaux, l'anticipation consiste en une activité musculaire synergique inhibitrice et excitatrice apparaissant avant l'action volontaire uniquement (condition active). Dans les conditions passives, les résultats s'accordent sur le fait qu'aucun APA n'est observé (Aruin & Latash, 1995 a ; Bennis, 1990 ; Cordo & Nashner, 1982 ; Forget & Lamarre, 1986 ; Gahery & Massion, 1981 ; Hugon et al., 1982 ; Lacquaniti & Maioli, 1989a ; Paulignan et al., 1986 ; Toussaint et al., 1997).

6.3. *Posture et mouvement, plus qu'une proximité ? Modélisation de l'ajustement postural anticipé*

Afin de mieux comprendre les APAs, plusieurs auteurs ont tentés de modéliser les liens qui les unissent au mouvement volontaire. Les ajustements par anticipation auraient leur origine dans le système nerveux central. Il y aurait une liaison proactive entre programmation d'un mouvement volontaire et anticipation posturale. L'acquisition d'un APA impliquerait ainsi, la transformation d'une rétroaction posturale acquise par l'expérience, en un contrôle proactif associé au mouvement exécuté (Lacquaniti et al., 1997 ; Massion, 1994).

La stabilisation de la posture est très fortement intégrée à la génération d'un mouvement, et la liaison entre posture et mouvement s'en trouve renforcée. Mouvement volontaire et APAs sont associés et semblent faire partie d'un même programme moteur (Cordo & Nashner, 1982 ; Horak & Nashner, 1986). D'un point de vue fonctionnel, plusieurs auteurs postulent que les APAs sont calés sur les conséquences anticipées de l'action plutôt que sur l'action elle même (Aruin & Latash, 1995 b ; Scholz & Latash, 1998). Nous partageons cette opinion et pensons que la préparation posturale n'est pas séparée ou indépendante du geste mais est une partie

intégrante de l'action. Le paramétrage de l'ajustement postural anticipé est, selon nous soumis aux mêmes contraintes que le mouvement volontaire : c'est à dire le contexte, l'intention, les représentations.

6.4. *Ajustements postural anticipé et développement*

Pour manipuler un objet, l'enfant doit stabiliser la position de ses avant-bras. Cette fixation nécessite des synergies musculaires accordées précisément aux intentions de l'enfant, aux propriétés de l'objet (poids, texture...) et aux forces perturbatrices potentielles (glissement..., Johansson & Cole, 1992).

Van der Fits montre que la saisie d'un objet est accompagnée d'une activation posturale à 4 mois, les patterns observés sont alors très variables et ne sont pas de nature anticipée (van der Fits & Hadders-Algra, 1998b). C'est vers 9 mois que la saisie est accompagnée d'une activation posturale anticipée (von Hofsten, 1993a). Lors de la manipulation bimanuelle, c'est vers deux ans que l'enfant peut anticiper la charge d'un objet, même si à cet âge, l'ajustement est de petite qualité (Eliasson et al., 1995 a). Le développement de l'ajustement anticipé dans des tâches de coordinations bimanuelles semble continu à travers l'enfance, il gagne progressivement en finesse.

6.5. *Etude des déterminants de l'APA chez l'enfant de deux ans*

6.5.1. *Problématique*

Afin d'anticiper une perturbation posturale, le sujet doit disposer d'une représentation des conséquences liées à une modification de son environnement. L'étude de l'ajustement postural anticipé dans une perspective développementale permet d'envisager l'influence de la représentation du réel dans la prédiction des perturbations posturales liées à un mouvement.

Dans le paradigme du « garçon de café » (figure 4, Berthoz, 1997), nous distinguons trois situations : une première dans laquelle le sujet décharge lui même son plateau (situation dite « active »), une situation dans laquelle un objet est retirée du plateau à son insu (ou aléatoire, situation dite « passive ») et une troisième dans laquelle le plateau est déchargé sous ses yeux. Dans cette dernière situation, le délestage passif est contrôlé visuellement. Ainsi, qu'en est-il de l'APA lorsque les conséquences de l'action d'autrui sont prévisibles et portent sur la posture du sujet ?

Chez l'adulte, l'expérience permet la formation et le stockage des représentations précises et stables des caractéristiques sensori-motrices des objets, c'est à dire leur poids, leur texture... (Gordon et al., 1991 a ; Gordon et al., 1991 b). L'identification visuelle permet ainsi, grâce à ces représentations, un paramétrage adéquat de la force de saisie d'un objet familier dès le premier essais (Gordon et al., 1993). Chez l'enfant, ces représentations sont plus labiles. Celui-ci commence à deux ans à utiliser les informations concernant le poids de l'objet dans les soulèvements précédents pour en paramétrer la saisie et donc, pour former une représentation de ses caractéristiques sensori-motrice (Forssberg et al., 1992).

Les perturbations posturales suivant une charge passive contrôlée visuellement devraient donc pouvoir être anticipées, dans la mesure où le sujet dispose d'une représentation sensori-motrice de l'objet et que le moment de l'impact est totalement prévisible (Johansson & Westling, 1988a ; Bennis, 1990). Chez l'enfant, cette

anticipation est envisageable uniquement si celui ci dispose d'une représentation sensori-motrice concernant le poids de l'objet.

6.5.2. Méthode

Nous avons proposé à 10 enfants, âgés de 20 à 32 mois, une tâche de coordination bimanuelle inspirée du "bimanual load lifting test" (Hugon et al., 1982) et du "paradigme du garçon de café" (Berthoz, 1997). Les enfants sont debout et un plateau est posé sur leur main droite. Un objet¹¹ leur est présenté. Les enfants procèdent eux-mêmes à la charge du plateau (condition active), ou celle-ci est réalisée par l'expérimentateur sous leurs yeux (condition passive). L'ordre de présentation est alterné, c'est à dire que l'enfant commence soit par charger lui même le poids sur son plateau, soit par une situation passive contrôlée visuellement (figure 5).

L'enfant est filmé de profil, du coté ipsilatéral au bras portant le plateau, durant toute la procédure. La vidéo obtenue est analysée sur ordinateur à l'aide d'un logiciel permettant de relever les coordonnées de points déterminés pour chaque image (épaule, coude, poignet). Les images sont traitées à partir de l'impact entre le plateau et le poids. Ces coordonnées sont ensuite traitées afin de fournir l'angle formé par ces trois points à des intervalles de 80 ms.

-INSERER figure 5-

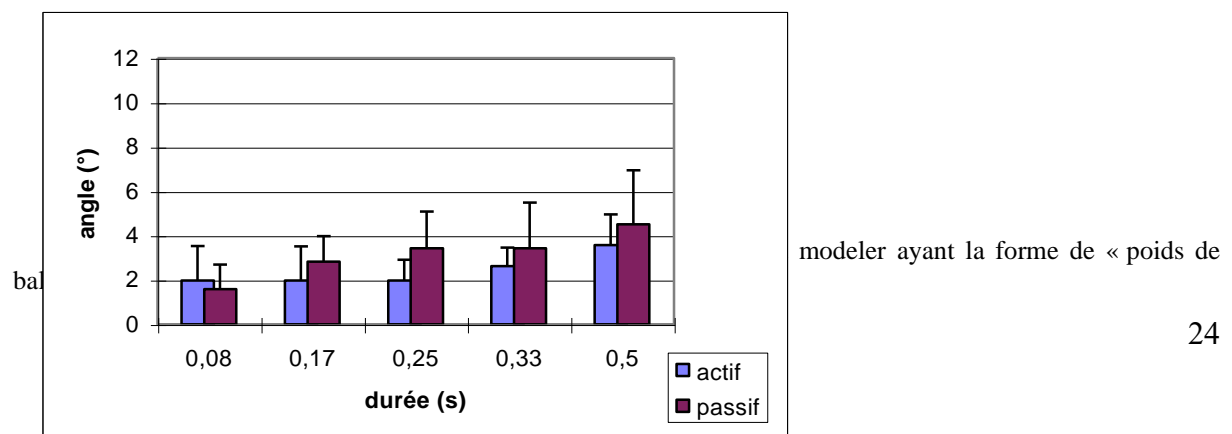
Figure 5 : Situation de lestage du plateau maintenu par l'enfant.

Ce paradigme nous permet de mesurer si l'enfant anticipe la perturbation de la position de son avant bras suivant la dépose de l'objet sur le plateau, dans chacune des conditions et compte tenu du poids de l'objet. Les déviations qui sont mesurées dès 0.08s, rendent compte de la préparation tonique posturale anticipée (Jover, 1999).

6.5.3. Résultats préliminaires

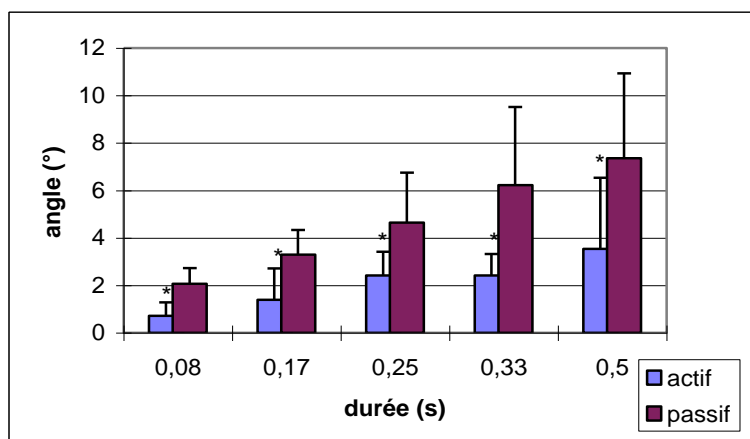
La mesure de l'étendue des déviations posturales déclenchée par la charge de l'objet est calculée par la différence entre l'amplitude maximale et minimale de l'angle formé par le coude sur une durée de 0.08, 0.17, 0.25, 0.33 et 0.5 secondes après l'impact.

Dans l'ordre de présentation actif puis passif, les déviations entraînées par la charge ne diffèrent pas de façon statistiquement significative, quel que soit l'intervalle de temps considéré (graphique I). En revanche, lorsque la condition passive est la première présentée, la différence entre les deux conditions reste significative quel que soit l'intervalle de temps considéré (graphique II, $p < .05$).



modeler ayant la forme de « poids de

Graphique I : Médianes et quartiles des étendues des déviations pour l'ordre actif puis passif.



Graphique II : Médianes et quartiles des étendues des déviations pour l'ordre passif puis actif (* : $p < 0,05$).

6.5.4. Conclusion et perspectives

Ces résultats préliminaires suggèrent que les ajustements posturaux anticipés sont présents à 21 mois, dans les situations dites “actives”. La charge passive entraîne des déviations plus importantes que la charge active. Les enfants intègrent dès 2 ans, les informations portant sur le poids d'un objet tenu par une main pour paramétrer la force de maintien du plateau tenu par l'autre et qu'il doit charger. Ces résultats sont concordants avec la littérature (Eliasson et al., 1995 a ; Schmitz et al., 1999).

Lorsque la condition active est présentée la première, la différence entre les conditions n'est cependant plus significative (Jover, 1999). Cet effet de l'ordre apparaissant pour la condition passive avec contrôle visuel, évoque que lorsque l'enfant a eu auparavant l'occasion de manipuler les objets (condition active), alors le poids de celui-ci pourrait être pris en compte. Une première manipulation de l'objet lors d'une condition active, peut permettre à l'enfant de mieux anticiper son poids dans la condition passive contrôlée visuellement (Forssberg et al., 1992). Cette remarque concorde avec les suggestions de Forssberg et ses collaborateurs concernant la labilité des représentations sensori-motrices chez le jeune enfant (Forssberg et al., 1995).

L'approche fonctionnelle de l'APA, c'est à dire l'étude de cet ajustement en fonction des déviations mesurées après la perturbation, monopolise à présent nos recherches : nous tentons de trouver des indicateurs supplémentaires nous permettant de décrire des ajustements posturaux chez les enfants les plus jeunes, et de caractériser les enfants à partir de leur notion sensori-motrices du poids.

7. Conclusion

L'étude du développement psychomoteur de l'enfant ne peut faire l'économie de celle de la posture. En effet, si les acquisitions posturales successives sont répertoriées, classées et comparées dans de nombreux ouvrages, les informations concernant leur organisation et leur fonctionnement sont peu accessibles pour le psychomotricien. Les publications sont ainsi la majeure partie du temps en anglais et peu disponibles. En outre, la variété des travaux et problématiques est multipliée par les perspectives théoriques de leurs auteurs. De ce

constat résulte la structure de ce chapitre et le détour que nous avons exécuté vers les points de vue portés sur le développement postural.

Les principales différences entre les théories résident, comme nous l'avons vu, dans la définition d'un moteur du développement. Selon l'axe théorique, les changements développementaux sont décrits en termes principalement qualitatifs (perspectives dynamiques et prédictives) ou alors quantitatifs (perspectives maturationnistes et parfois prédictives). Ces propositions définissent le point de vue de la discontinuité, dans lequel le développement est envisagé comme ayant un rythme variable qui alterne entre périodes stables et changements abrupts, opposé à celui de la continuité : le développement est stable et continu, les acquisitions s'ajoutent et se succèdent à un rythme uniforme (Mellier, 1993).

La modélisation du développement postural et des interactions entre posture et mouvement volontaire sont actuellement au cœur des problématiques de nombreuses équipes de recherche. Autrefois envisagée comme réflexe et résultant principalement d'un processus neuromaturationnel, la posture trouve actuellement une nouvelle profondeur. Tout d'abord, de nombreuses distinctions ont été faites à l'intérieur même du concept d'ajustement postural. C'est ainsi que l'on distingue la réaction de l'anticipation (Corraze, 1987). Chacune de ces composante est l'objet de nombreux travaux, et tout particulièrement l'ajustement postural anticipé (Commissaris & Toussaint, 1997 ; Aruin et al., 1998 ; De Wolf et al., 1998 ; Massion, 1998 ; Toussaint et al., 1998 ; Biryukova et al., 1999 ; Brunia, 1999 ; Hay & Redon, 1999 ; Hodges et al., 1999 ; Schmitz et al., 1999). Cette composante du geste, par ses particularités, est le point de départ d'une réflexion épistémologique sur la distinction posture/mouvement. Celle-ci pourrait finalement, comme le suggèrent Latash et ses collaborateurs, être uniquement celle de l'expérimentateur mais pas celle du système nerveux central (Aruin & Latash, 1995 a). Les processus posturaux ne sont ainsi plus à considérer comme processus réflexes ou de bas niveau mais comme des constructions motrices à part entière, soumises aux contraintes de l'environnement et à la perception qu'en a l'individu. Le niveau de la planification et le niveau de contrôle automatique ne sont plus considérés comme deux étages indépendants de l'organisation hiérarchique du système moteur, traitant des variables complètement différentes (Lacquaniti, 1992). Du point de vue développemental, le contrôle postural constitue une façon d'investiguer la dynamique d'apparition et le lien entre posture et comportement sensori-moteur (Berthental, 1990).

Bibliographie

- Ajuriaguerra de, J. (1978). Ontogénèse de la motricité. In H. Hecaen & M. Jeannerod (Eds.), Du contrôle moteur à l'organisation du geste (pp. 133-157). Paris : Masson.
- Alegria, J. & Noirot, E. (1978). Neonate orientation behaviour towards humans voice. International Journal of behavioral development, 1, 291-312.
- Amiel-Tison, C. & Lebrun, F. (1990). L'examen neuro-moteur au cours de la première année de la vie. Journal de Pédiatrie et de Puériculture, 7, 398-410.
- Aruin, A. S., Forrest, W. R. & Latash, M. L. (1998). Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 109, 350-9.
- Aruin, A. S. & Latash, M. L. (1995 a). The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. Exp Brain Res, 106, 291-300.
- Aruin, A. S. & Latash, M. L. (1995 b). Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. Experimental Brain Research, 103, 323-32.
- Assaiante, C. (1998). Development of locomotor balance control in healthy children. Neurosci Biobehav Rev, 22, 527-32.
- Assaiante, C. & Amblard, B. (1993). Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: influence of visual cues. Exp Brain Res, 93, 499-515.
- Assaiante, C. & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensori motor organization of balance control in humans. Human movement science, 14, 13-43.
- Bennis, N. (1990). Etude d'un mouvement d'ajustement postural chez l'homme normal et le patient hémiparétique. Thèse de doctorat en science de la vie. Orsay.
- Bennis, N., Roby-Brami, A., Dufosse, M. & Bussel, B. (1996). Anticipatory responses to a self-applied load in normal subjects and hemiparetic patients. J Physiol Paris, 90, 27-42.
- Bernstein, N. (1967). The coordination and regulation of movements. Oxford : Pergamon Press.
- Bertenthal, B. I. & Bai, D. L. (1989). Infants' sensitivity to optical flow for controlling posture. Developmental Psychology, 25, 936-945.
- Bertenthal, B. I., Rose, J. L. & Bai, D. L. (1997). Perception-action coupling in the development of visual control of posture. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 23, 1631-43.
- Bertenthal, B. I. (1990). Application of biomechanical principles to the study of perception and action. In H. Bloch & B. I. Bertenthal (Eds.), Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood (pp. 243-262). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Berthoz, A. (1997). Le sens du mouvement. Paris : Odile Jacob.
- Biryukova, E. V., Roschin, V. Y., Frolov, A. A., Ioffe, M. E., Massion, J. & Dufosse, M. (1999). Forearm postural control during unloading: anticipatory changes in elbow stiffness. Exp Brain Res, 124, 107-17.
- Bloch, H. (1987). There is more in our movements than in your theory. Cahiers de psychologie cognitive, 7, 136-147.
- Bottos, M., Dalla Barba, B., Stefani, D., Pettina, G., Tonin, C. & D'Este, A. (1989). Locomotor strategies preceding independent walking: prospective study of neurological and language development in 424 cases. Dev Med Child Neurol, 31, 25-34.
- Bouisset, S. & Zattara, M. (1987). Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. J Biomech, 20, 735-42.
- Bril, B. & Ledebt, A. (1998). Head coordination as a means to assist sensory integration in learning to walk. Neurosci Biobehav Rev, 22, 555-63.
- Brogren, E., Hadders-Algra, M. & Forsberg, H. (1998). Postural control in sitting children with cerebral palsy. Neurosci Biobehav Rev, 22, 591-6.

- Brunet, O. & Lezine, I. (1961). Le développement de la première enfance. Présentation d'une échelle pour l'examen des tout petits. Paris : PUF.
- Brunia, C. H. (1999). Neural aspects of anticipatory behavior. Acta Psychol (Amst), 101, 213-42.
- Bullinger, A. (1996). Le bilan sensori-moteur de l'enfant. Enfance, 1, 41-50.
- Bullinger, A. (1998). La genèse de l'axe corporel : quelques repères. Enfance, 1, 27-35.
- Bullinger, A. & Mellier, D. (1988). Influence de la cécité sur les conduites sensorimotrices chez l'enfant. Cahiers de psychologie cognitive, 8, 191-203.
- Bushnell, E. W. & Bourdreau, J. P. (1993). Motor development and the mind : the potential role of motor abilities as a determinant of aspects of perceptual development. Child development, 64, 1005-21.
- Collard, M. (1994). Voies vestibulaires : de la structure à la fonction. Rev Prat (Paris), 44, 295-298.
- Commissaris, D. A. C. & Toussaint, H. M. (1997). Anticipatory Postural Adjustment in a bimanual, whole body lifting task with an object of known weight. Human movement science, 16, 407-431.
- Cordo, P. J. & Nashner, L. M. (1982). Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. J Neurophysiol, 47, 287-302.
- Corraze, J. (1987). La neuropsychologie du mouvement. Paris : PUF.
- De Wolf, S., Slijper, H. & Latash, M. L. (1998). Anticipatory postural adjustments during self-paced and reaction-time movements. Exp Brain Res, 121, 7-19.
- Eliasson, A. C., Forssberg, H., Ikuta, K., Apel, I., Westling, G. & Johansson, R. (1995 a). Development of human precision grip. V. anticipatory and triggered grip actions during sudden loading. Exp Brain Res, 106, 425-33.
- Espenschade, A. S. & Eckert, H. M. (1980). Motor development. Columbus, Ohio : C.E. Merrill Publishing Company.
- Forget, R. & Lamarre, Y. (1986). Central control of anticipatory postural adjustment associated with active unloading. Neuroscience Letter supplement, 26, S275.
- Forssberg & Hirschfeld (1994). Experimental brain research, 97, 515-527.
- Forssberg, H., Eliasson, A. C., Kinoshita, H., Westling, G. & Johansson, R. S. (1995). Development of human precision grip. IV. Tactile adaptation of isometric finger forces to the frictional condition. Exp Brain Res, 104, 323-30.
- Forssberg, H., Kinoshita, H., Eliasson, A. C., Johansson, R. S., Westling, G. & Gordon, A. M. (1992). Development of human precision grip. II. Anticipatory control of isometric forces targeted for object's weight. Exp Brain Res, 90, 393-8.
- Forssberg, H. & Nashner, L. M. (1982). Ontogenetic development of postural control in man: adaptation to altered support and visual conditions during stance. J Neurosci, 2, 545-52.
- Gahery, Y. & Massion, J. (1981). Co-ordination between posture and movement. TINS, 4, 199-202.
- Gesell, A. (1954). Embryologie du comportement. Paris : PUF.
- Gesell, A. & Ilg, F. L. (1967). Le jeune enfant dans la civilisation moderne. Paris : PUF.
- Ghez, P. M., Bizzo, G., Bonnier, L., Gentaz, R., Guillaume, P., Marucchi, C. & Villeneuve, P. (1993a). Huit leçons de posturologie. Paris : Association Française de Posturologie.
- Ghez, P. M., Bizzo, G., Bonnier, L., Gentaz, R., Guillaume, P., Marucchi, C. & Villeneuve, P. (1993b). Huit leçons de posturologie. Paris : Association Française de Posturologie.
- Ghez, P. M., Bizzo, G., Bonnier, L., Gentaz, R., Guillaume, P., Marucchi, C. & Villeneuve, P. (1993c). Huit leçons de posturologie. Paris : Association Française de Posturologie.
- Goldfield, E. C. (1993). Le rôle de l'activité dans le développement de l'exploration perceptive chez le bébé. In V. Pouthas & F. Jouen (Eds.), Les comportements du bébé : Expression de son savoir ? (pp. 195-208). Liège : Mardaga.
- Gordon, A. M., Forssberg, H., Johansson, R. S. & Westling, G. (1991 a). The integration of haptically acquired size information in the programming of precision grip. Exp Brain Res, 83, 483-8.

Gordon, A. M., Forssberg, H., Johansson, R. S. & Westling, G. (1991 b). Integration of sensory information during the programming of precision grip: comments on the contributions of size cues. Exp Brain Res, 85, 226-9.

Gordon, A. M., Westling, G., Cole, K. J. & Johansson, R. S. (1993). Memory representations underlying motor commands used during manipulation of common and novel objects. J Neurophysiol, 69, 1789-96.

Gramsbergen, A. & Hadders-Algra, M. (1998). Development of postural control, a basic aspect of neuro-ontology [editorial]. Neurosci Biobehav Rev, 22, 463-4.

Grenier, A. (1981). La "motricité libérée" par fixation manuelle de la nuque au cours des premières années de la vie. Archives Françaises de Pédiatrie, 38, 557-561.

Hadders-Algra, M., Brogren, E. & Forssberg, H. (1996a). Ontogeny of postural adjustments during sitting in infancy: variation, selection and modulation. J Physiol (Lond), 493, 273-88.

Hadders-Algra, M., Brogren, E. & Forssberg, H. (1996b). Training affects the development of postural adjustments in sitting infants. J Physiol (Lond), 493, 289-98.

Hadders-Algra, M., Brogren, E. & Forssberg, H. (1997). Nature and nurture in the development of postural control in human infants. Acta Paediatr Suppl, 422, 48-53.

Hadders-Algra, M., Brogren, E. & Forssberg, H. (1998). Development of postural control--differences between ventral and dorsal muscles? Neurosci Biobehav Rev, 22, 501-6.

Hadders-Algra, M. & Prechtel, H. F. R. (1992a). Developmental course of general movements in early infancy. I. Descriptive analysis of change in form. Early Human Development, 28, 201-213.

Hadders-Algra, M. & Prechtel, H. F. R. (1992b). Developmental course of general movements in early infancy. II. EMG correlates. Early Human Development, 28, 231-251.

Hauert, C. (1995). Les déterminants du développement moteur : aspects théoriques et expérimentaux. In J. Bertsch & C. L. Scanff (Eds.), Apprentissages moteurs et conditions d'apprentissages (pp. 211-259). Paris : PUF.

Hay, L. (1985). La transition des comportements réflexes aux comportements volontaires : l'exemple de l'atteinte manuelle. L'année psychologique, 85, 407-428.

Hay, L. & Redon, C. (1999). Feedforward versus feedback control in children and adults subjected to a postural disturbance. Exp Brain Res, 125, 153-62.

Hirschfeld, H. & Forssberg, H. (1994). Epigenetic development of postural responses for sitting during infancy. Exp Brain Res, 97, 528-40.

Hodges, P., Cresswell, A. & Thorstensson, A. (1999). Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. Exp Brain Res, 124, 69-79.

Horak, F. B. & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. J Neurophysiol, 55, 1369-81.

Howard, I. P. (1986). The perception of posture, self motion and the visual vertical. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), Handbook of perception and human performance (pp. 18/2 - 18/22). New York : Wiley and Sons.

Hugon, M., Massion, J. & Wiesendanger, M. (1982). Anticipatory postural changes induced by active unloading and comparison with passive unloading in man. Pflugers Arch, 393, 292-6.

Illingworth, R. S. (1978). Abrégé du développement psychomoteur de l'enfant. Paris : Masson.

Johansson, R. S. & Cole, K. J. (1992). Sensory-motor coordination during grasping and manipulative actions. Curr Opin Neurobiol, 2, 815-23.

Johansson, R. S. & Westling, G. (1988a). Coordinated isometric muscle commands adequately and erroneously programmed for the weight during lifting task with precision grip. Exp Brain Res, 71, 59-71.

Jouen, F. (1990). Early visual-vestibular interactions and postural development. In H. Bloch & B. I. Berthenthal (Eds.), Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood (pp. 199-216). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

- Jouen, F. & Lepecq, J.-C. (1990). Early perceptuo-motor development : posture and locomotion. In C. A. Hauert (Ed.) Developmental psychology. Cognitive, perceptuo-motor, and neuropsychological perspectives (pp. 61-83). North Holland : Elsevier Science Publishers B.V.
- Jover, M. (1999). L'ajustement postural anticipé chez l'enfant : forme et intégration des caractéristiques des objets. Communication orale au colloque de la Société Française de Psychologie, Aix en Provence.
- Koupernik, C. & Dailly, R. (1972). Développement neuro-psychique du nourrisson. Paris : PUF.
- Lacquaniti, F. (1992). Automatic control of limb movement and posture. Curr Opin Neurobiol, 2, 807-14.
- Lacquaniti, F. & Maioli, C. (1989a). The role of preparation in tuning anticipatory and reflex responses during catching. J Neurosci, 9, 134-48.
- Lacquaniti, F. & Maioli, C. (1989b). Adaptation to suppression of visual information during catching. J Neurosci, 9, 149-59.
- Lacquaniti, F., Maioli, C., Borghese, N. A. & Bianchi, L. (1997). Posture and movement: coordination and control. Arch Ital Biol, 135, 353-67.
- Lannou, J. & Caston, J. (1981). Maturation de l'appareil vestibulaire et des fonctions d'équilibration. In H. Herbinet & M. C. Busnel (Eds.), L'aube des sens. (pp. 301-312). Paris : Stock.
- Largo, R. H., Molinari, L., Weber, M., Comenale Pinto, L. & Duc, G. (1985). Early development of locomotion: significance of prematurity, cerebral palsy and sex. Dev Med Child Neurol, 27, 183-91.
- Le Metayer, M. (1989). Bilan neuromoteur (cérébromoteur) du jeune enfant. In E. m. e. chirurgicale (Ed.) Kinesithérapie (pp. 26). Paris
- Massion, J. (1984). Postural changes accompanying voluntary movements. Normal and pathological aspects. Hum Neurobiol, 2, 261-7.
- Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. Prog Neurobiol, 38, 35-56.
- Massion, J. (1994). Postural control system. Curr Opin Neurobiol, 4, 877-87.
- Massion, J. (1998). Postural control systems in developmental perspective. Neurosci Biobehav Rev, 22, 465-72.
- Mellier, D. (1990). Pour une analyse fonctionnelle du développement des actes moteurs : comment est interprétée la motricité des bébés. In G. Netchine-Grynberg (Ed.) Approche nouvelle du développement dans l'étude du fonctionnement cognitif de l'enfant (pp. 165-181). Paris : PUF.
- Mellier, D. (1993). Continuité ou discontinuité ? In V. Pouthas & F. Jouen (Eds.), Les comportements du bébé : Expression de son savoir ? (pp. 53-58). Liège : Mardaga.
- Mellier, D. & Bullinger, A. (1999). Le développement des actions motrices. In J. A. Rondall & E. Esperet (Eds.), Manuel de psychologie de l'enfant (pp. 191-214). Bruxelles : Mardaga.
- Ohlmann, T. & Brenet, F. (1990). Les bases posturales de la dépendance-indépendance à l'égard du champs visuel. Psychologie et Education, 2, 35-73.
- Paillard, J. (1976). Tonus, posture et mouvement. In C. Kayser (Ed.) Traité de Psychologie (pp. 521-728). Paris : Flammarion.
- Paulignan, Y., Dufossé, M., Hugon, M. & Massion, J. (1986). Parameters voluntary movement responsible for the anticipatory adjustment of posture. Neuroscience Letter Suppl., 26, S274.
- Prechtl, H. F. R. (1974). The behavioral state of the new born infant (a review). Brain research, 76, 185-212.
- Roll, J. P. (1994). Sensibilités cutanées et musculaires. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), Traité de psychologie expérimentale (pp. 483-542). Paris : PUF.
- Saint Anne Dargassies, S. (1982). Le développement neuro moteur et psycho affectif du nourrisson. Paris : Masson.

Savelsbergh, G. J. P. (1993). The state of the art : a personal view on the development of movement coordination. In G. J. P. Savelsbergh (Ed.) The development of coordination in infancy (pp. 519-524). : Elsevier Science Publishers B. V.

Schmidt, R. A. & Lee, T. D. (1999). Motor control and learning, a behavioral emphasis. Leeds : Human Kinetics.

Schmitz, C., Martin, N. & Assaiante, C. (1999). Development of anticipatory postural adjustments in a bimanual load- lifting task in children [In Process Citation]. Exp Brain Res, 126, 200-4.

Scholz, J. P. & Latash, M. L. (1998). A study of bimanual synergy associated with holding an object. Human movement science, 17, 753-779.

Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. (1985). The growth of stability : postural control from a developmental perspective. Journal of motor behavior, 17, 131-147.

Stambak, M. (1963). Tonus et motricité dans la première enfance. Neuchatel : Delachaux et Niestlé.

Thelen, E. (1989). The (re) discovery of motor development : learning new things from an old field. Developmental Psychology, 25, 871-884.

Thelen, E., Corbetta, D., Kamm, K., Spencer, J. P., Schneider, K. & Zernicke, R. F. (1993). The transition to reaching: mapping intention and intrinsic dynamics. Child Dev, 64, 1058-98.

Thelen, E., Kelso, J. A. S. & Skala, K. D. (1987). The dynamics nature of early coordination : evidence from bilateral leg movements in young infants. Developmental Psychology, 23, 179-186.

Thelen, E. & Spencer, J. P. (1998). Postural control during reaching in young infants: a dynamic systems approach. Neurosci Biobehav Rev, 22, 507-14.

Toussaint, H. M., Commissaris, D. A., Hoozemans, M. J., Ober, M. J. & Beek, P. J. (1997). Anticipatory postural adjustments before load pickup in a bi-manual whole body lifting task. Med Sci Sports Exerc, 29, 1208-15.

Toussaint, H. M., Michies, Y. M., Faber, M. N., Commissaris, D. A. & van Dieen, J. H. (1998). Scaling anticipatory postural adjustments dependent on confidence of load estimation in a bi-manual whole-body lifting task. Exp Brain Res, 120, 85-94.

Touwen, B. C. L. (1993). Longitudinal studies on motor development : developmental neurological considerations.

Vaivre Douret, L. (1997). Précis théorique et pratique du développement moteur du jeune enfant : Normes et dispersions. Paris : Elsevier.

van der Fits, I. B. & Hadders-Algra, M. (1998b). The development of postural response patterns during reaching in healthy infants. Neurosci Biobehav Rev, 22, 521-6.

van der Fits, I. B., Klip, A. W., van Eykern, L. A. & Hadders-Algra, M. (1998a). Postural adjustments accompanying fast pointing movements in standing, sitting and lying adults. Exp Brain Res, 120, 202-16.

von Hofsten, C. (1989). Motor development as the development of systems : comments on the special section. Developmental Psychology, 25, 950-953.

von Hofsten, C. (1990). A perception action perspective on the development of manual movements. In M. Jeannerod (Ed.) Attention and performance XIII : Motor programs : concepts and issues (pp. 739-762). Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.

von Hofsten, C. (1993a). Prospective control : a basic aspect of action development. Human development, 36, 253-270.

von Hofsten, C. & Ronnqvist, L. (1993b). The structuring of neonatal arm movements. Child Dev, 64, 1046-57.

Wallon, H. (1956). Importance du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant. Enfance, 2, 41-47.

Widmer, C. & Tissot, R. (1981). Les modes de communication du bébé. Postures, mouvements et vocalises. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.

Woollacott, M., Debu, B. & Mowatt, M. (1987). Neuromuscular control of posture in the infant and the child : is vision dominant? Journal of motor behavior, 19, 167-186.

Woollacott, M. H. (1990). Development of postural equilibrium during sitting and standing. In H. Bloch & B. I. Berthenthal (Eds.), Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood (pp. 217-230). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

Zanone, P. G. (1990). Perceptuo-motor development in the child and the adolescent : perceptuo-motor coordination. In C. A. Hauert (Ed.) Developmental psychology. Cognitive, perceptuo-motor, and neuropsychological perspectives (pp. 309-338). North Holland : Elsevier Science Publishers B.V.

Zelazo, N. A., Zelazo, P. R., Cotten, K. M. & Zelazo, P. D. (1993). Specificity of practice effects on elementary neuromotor patterns. Developmental psychology, 29, 686-691.