

Une interprétation comportementale de la marche automatique chez le nourrisson

(A behavioral interpretation of infant stepping)

Carmen Quintana

Universidad de Guadalajara

L'analyse du développement ontogénétique de la marche chez l'enfant a été l'objet de nombreuses études depuis les années cinquante (e.g., André-Thomas, 1952).

La marche automatique du nourrisson se présente lorsque l'enfant est soutenu par-dessous les bras en position debout, pendant que ses pieds touchent une surface plane. L'enfant commence alors à exécuter des mouvements alternés de jambes semblables à la marche coordonnée de l'humain adulte normal. Ce réflexe de marche devient de plus en plus difficile à évoquer quelques semaines après la naissance et disparaît normalement vers l'âge de 2 mois. Les enfants ne montrent aucun mouvement similaire à la marche (au moins dans la position debout) jusqu'aux derniers mois de la première année.

La marche automatique du nouveau-né a suscité de grandes controverses à cause des remarquables ressemblances entre cette réaction et la marche autonome et définitive. Les chercheurs se sont posé de nombreuses questions concernant la correspondance, tant au niveau fonctionnel qu'au niveau du contrôle neurologique, entre la marche automatique et la marche définitive qui apparaît autour de la première année.

La marche réflexe a été étudiée principalement dans le domaine de la neurologie et de la neurophysiologie; l'intérêt pour la marche automatique dans le domaine de la psychologie est d'ascendance plus récente. Zelazo (1972) a été l'un des premiers à étudier les aspects psychologiques et cognitifs de ce comportement par rapport à la marche autonome.

Le but principal de ce travail est de décrire les interprétations les plus représentatives dans l'étude de la marche automatique, ainsi que de souligner les aspects comportementaux remarquables de ce phénomène. La dernière partie présente une analyse de la marche automatique en termes de son rôle adaptatif et fonctionnel chez le jeune enfant.

L'ÉTUDE DE LA MARCHE AUTOMATIQUE DANS LE DOMAINE DE LA NEUROLOGIE.

Du côté de la neurologie, plusieurs auteurs ont tenté d'expliquer le phénomène de la marche automatique en se fondant sur la structure et la physiologie du système nerveux. McGraw (1945) décrivait déjà les structures anatomiques qui contrôlent les diverses phases de la locomotion debout. Selon lui, les mouvements de marche du nouveau-né seraient une manifestation des noyaux sous-corticaux primitifs qui produisent de vieux patrons de mouvement déterminés de façon phylogénétique et réflexe. Ces patrons disparaissent graduellement pendant que les centres corticaux d'inhibition mûrissent. Ainsi, la locomotion se développe d'une manière parallèle au système nerveux. Les mouvements primitifs de l'enfant sont progressivement contrôlés par des mécanismes corticaux.

Dans la même tradition neurophysiologique, André-Thomas (1952) décrit la réaction de la marche réflexe comme un comportement contrôlé de façon sous-corticale et tout à fait automatique, à la différence du contrôle cortical caractéristique de la marche autonome. Par conséquent, les mouvements du nouveau-né et ceux de l'enfant d'un an présentent des différences, les premiers étant moins coordonnés et moins réguliers, effectués sans la participation des membres supérieurs et des appareils visuel et auditif (l'équilibre fait défaut). Cet auteur compare ainsi les mécanismes nerveux sous-jacents à la marche automatique du nouveau-né et ceux qui contrôlent la marche autonome :

«Les centres nerveux qui entrent en jeu ne sont pas les mêmes. À la naissance, la mobilité est actionnée par un mécanisme à prédominance sous-corticale, à plusieurs mois par un mécanisme compliqué à prédominance corticale, sans compter que ce mécanisme s'est enrichi d'enregistrements multiples, d'un apprentissage incessant, d'une expérience déjà longue. Entretenu par les acquisitions variées, en particulier celles fournies par la sensibilité profonde, par les impressions proprioceptives, par leurs associations, leurs combinaisons avec les afférences vestibulaires...» (p. 125).

Plus récemment, Forssberg (1980, 1985) a également défendu l'idée que le problème des similitudes et différences entre la marche réflexe du nouveau-né et la marche définitive est d'ordre physiologique. Il conclut, en accord avec McGraw et André-Thomas, que la marche réflexe est contrôlée au niveau de la moelle épinière. Les preuves en faveur de cette affirmation proviennent d'études effectuées chez le chat (e.g. Anderson & Grillner, 1981, 1983 ; Duysens & Pearson, 1980 ; Forssberg, Grillner, & Hallbertsma, 1980; Forssberg, Grillner, et al., 1980; Grillner, 1973 ; Hiebert, Gorassini, Jiang, Prochazka y Pearson, 1994 ; Hiebert, Whelan Prochazka y Pearson, 1996). Dans ces études, des chats « spinaux » (avec section au niveau de la moelle épinière) ont été capables de marcher deux jours après la chirurgie si leurs pattes arrière étaient soutenues sur un tapis roulant. L'analyse détaillée des mouvements montrait une grande similitude avec la marche intacte. Ainsi, Forssberg (1980, 1985) affirme que les mouvements fondamentaux de la locomotion peuvent être générés par la moelle épinière sans aucune contribution supra-spinale. L'existence d'un rythme locomoteur à la naissance impliquerait la présence d'un réseau neuronal génétiquement programmé. À la naissance, les mouvements de marche seraient stéréotypés et générés seulement par une activité propulsive fondamentale. Le programme moteur (ou générateur locomoteur) serait alors contrôlé par de centres supra-spinaux pour maîtriser la vitesse de mouvements. Finalement, la locomotion est adaptée à l'environnement à travers de signaux périphériques (visuels, vestibulaires et proprioceptifs). Ainsi, la marche automatique évoluerait vers sa forme définitive de façon continue. Cela implique que quand l'enfant apprend à marcher sans l'aide d'un adulte il n'est pas en train d'apprendre un nouveau programme moteur. Il apprend à contrôler un programme moteur déjà établi et à l'adapter aux conditions extérieures. Ce développement suppose la maturation de certains organes centraux de contrôle, en particulier le système de l'équilibre (Forssberg, 1985).

La liste des auteurs qui se sont occupés de la marche automatique du nourrisson selon un point de vue neurophysiologique est longue (par exemple, Domellöf, Rönnqvist, & Hopkins, 2007 ; Forssberg & Wallberg, 1980; Leonard, Hirschfeld, & Forssberg, 1991; Lamb, & Yang, 2000; Lundberg, 1980 ; Pang, & Yang, 2000, 2001 ; Yang, Stephens, & Vishram, 1998a et b). La plupart d'entre eux ont tiré des conclusions dérivées de l'étude biomécanique et neurologique du phénomène. La perspective principale dans la tradition neurologique semble attribuer à la structure matérielle (le système nerveux) une relation causale, privilégiée et univoque, avec le comportement de la marche. Le développement du système nerveux contrôlerait le développement du comportement (Thelen, 1991). Cependant, les conclusions dérivées des études neurophysiologiques semblent peu concluantes. En effet, les études effectuées chez différentes espèces ont fait l'objet de controverses importantes concernant le type de contrôle du système nerveux sur le mouvement.

Il existe deux possibilités pour décrire la stratégie de contrôle du système nerveux : celle qui favorise les facteurs centraux et celle qui donne une importance particulière à l'information provenant des systèmes périphériques (Forssberg, 1980). *Les centralistes* affirment que l'information périphérique n'est pas vraiment nécessaire pour effectuer le mouvement. Leur argument repose sur l'idée que le système nerveux central possède toute l'information nécessaire pour activer les muscles appropriés. Le résultat moteur est déjà programmé. Lorsqu'un signal provoque le mouvement, tous les muscles peuvent être activés par le programme sans aucune information périphérique. Les partisans de la théorie périphérique, au contraire, considèrent le mouvement comme étant construit sur une série de séquences réunies par une chaîne de réflexes. À chaque phase, une rétroaction sensorielle déclencherait la séquence suivante.

L'objection principale qui peut être adressée au point de vue des centralistes est que même si l'on accepte l'existence d'un programme moteur neurologiquement défini à la naissance, ce programme doit toujours s'adapter aux conditions de stimulation présentes dans l'environnement de l'organisme en question; autrement dit, le programme dépend toujours de la situation de l'organisme par rapport au milieu auquel il doit répondre. Dans cette perspective, certains auteurs (e.g. Katona, 1989; Merleau-Ponty, 2006) affirment que la maturation des fonctions sensorielle et motrice constitue un seul et même processus. L'organisation du contrôle moteur est corrélée avec la fonction sensorielle. Les mouvements génèrent des influx sensoriels qui envoient une information importante vers la moelle épinière, le cerveau et les systèmes supérieurs. La rétroaction constante provenant de la périphérie joue une part importante dans le développement du contrôle moteur. Par ailleurs, d'autres données provenant des études sur la phylogenèse de la locomotion humaine (e.g. Forssberg, 1985) ont démontré que la marche bipède et plantigrade caractéristique de l'espèce humaine a évolué avant l'expansion du cerveau. Ces études sont basées sur l'analyse de traces de pas d'hominidés qui sont morphologiquement égales à celles de l'homme moderne (White, 1980).

De la même façon, l'examen des fossiles hominidés de trois millions d'années et plus a récemment montré que ces hominidés avaient de petits cerveaux, d'une taille seulement un peu supérieure à celle des singes modernes. Ils avaient aussi un squelette adapté à la marche bipède et plantigrade similaire à celle de l'homme moderne (Forssberg, 1985). Il semble alors pertinent de se demander si le cerveau peut vraiment être évoqué comme la cause directe de la marche. L'importance des facteurs physiologiques dans la compréhension du phénomène est indiscutable, mais prétendre que l'aspect physiologique constitue la seule cause du comportement équivaut à nier l'aspect interactif et fonctionnel de ce dernier. Il est nécessaire de se rappeler que les conditions environnementales qui stimulent directement l'organisme constituent un mécanisme important dans le développement du comportement, et que le type de conduite qu'un individu manifeste à

un moment donné dépend non seulement de sa structure biologique, mais aussi des stimulus avec lesquels il est en contact.

Les données qui donnent support à l'explication «centraliste» sont aussi probantes que celles qui appuient l'approche «périphérique», et cela constitue une source d'ambiguïté dans la compréhension du phénomène. Même si les deux types d'affirmations sont dérivés de l'observation systématique du comportement chez diverses espèces, leur nature est plutôt spéculative puisque les preuves empiriques sont indirectes. Toutes les conclusions tirées des observations constituent des déductions faites sur la base de l'étude des aspects biomécaniques du mouvement. L'existence d'un ou plusieurs centres de contrôle du mouvement constitue une déduction non démontrée basée sur des connaissances antérieures de la physiologie cérébrale. En aucun cas, du moins à notre connaissance, une mesure ou manipulation directe des structures nerveuses supposées de contrôler les mouvements de la marche n'a été effectuée.

En conclusion, dans l'état actuel des choses, les connaissances sur le système nerveux ne sont pas suffisantes pour expliquer le phénomène de la marche ni dans son étape primitive chez le nouveau-né ni dans son étape définitive. Certes, l'évolution dans la compréhension des mécanismes physiologiques qui entrent en jeu au cours du mouvement a des implications importantes pour la neurologie et la médecine. Mais, de la même manière, les aspects interactifs et fonctionnels de ce comportement sont utiles pour l'analyse psychologique de l'évolution motrice chez l'humain.

LE RÉFLEXE ET LA MARCHE AUTOMATIQUE.

L'étude des réflexes est employée très souvent à des fins de diagnostic. L'évaluation de l'état général du nourrisson est basée (parmi d'autres mesures comme celles des capacités sensorielles et de la maturité gestationnelle) sur la présence ou l'absence de certains réflexes. L'évaluation des réflexes pendant la période néonatale permet d'établir si le nourrisson a besoin d'autres examens ou de soins spéciaux (Francis, Self, & Horowitz, 1987). Les réflexes sont inclus dans plusieurs tests d'évaluation du nouveau-né (surtout dans les tests neurologiques) et leur présence ou absence constitue un critère important pour l'identification des enfants atteints de divers troubles ou bien susceptibles de rencontrer des difficultés dans une étape ultérieure de leur développement. Si le bébé est capable de répondre de façon adéquate (selon les normes standard) à des stimulations fournies par l'examineur, son système nerveux est considéré comme intact. En revanche, si l'enfant manque d'une ou de plusieurs de ces réactions, l'existence d'une difficulté de développement à la suite d'un dommage neurologique inné est soupçonnée. La valeur diagnostique des réflexes en tant que prédicteurs du développement ultérieur est généralement acceptée dans le domaine de la neurologie (Katona, 1989).

L'évaluation des réactions motrices (incluant la marche automatique) fait partie de divers tests d'évaluation néonatale. Elle est utilisée tant pour le diagnostic neurologique que pour la détection précoce de possibles défauts du système moteur.

Néanmoins, l'évaluation néonatale des réflexes n'a pas suffisamment démontré son pouvoir prédictif. Les résultats sont contradictoires et montrent que, dans certains cas, les tests d'évaluation néonatale sont peu précis quant à la prédiction de l'évolution neurologique (Katona, 1989) et comportementale de l'enfant (Francis, Self, & Horowitz, 1987; Lécuyer, 1986).

L'évaluation du niveau de développement du système moteur présente certaines particularités qu'il est nécessaire de commenter. D'une part, des réactions motrices en rapport avec la verticalisation et la locomotion sont incluses dans toutes les batteries standard d'évaluation du nouveau-né. D'autre part, le problème de l'apparition ontogénétique de premiers mouvements n'est toujours pas réglé (Katona, 1989). On attribue normalement une valeur diagnostique et prédictive à une réaction motrice sur laquelle les connaissances sont limitées. De nombreux détails sur l'importance de la marche automatique (et d'autres réactions motrices) pour le développement ultérieur sont encore inconnus.

Au niveau comportemental, le réflexe de nature motrice, en tant que réaction non conditionnée face à un stimulus, reste relativement inexploré. Dans les premières étapes du développement, et même plus tard, le réflexe constitue une importante réaction adaptative de l'organisme. Il assure la survie dans la mesure où il est enraciné dans les structures biologiques de l'organisme. Malcuit, Pormerleau, & Maurice (1995) définissent le réflexe comme suit :

Le réflexe est le déclenchement régulier, sans condition d'expérience préalable, d'une réponse par un stimulus. Il décrit la relation entre un stimulus déclencheur et la réponse qu'il déclenche de façon régulière. Le concept de réflexe se définit surtout par la régularité d'une réponse X provoquée par un stimulus Y, et ceci de façon rapide et automatique chez tous les individus d'une espèce, tout le temps ou à de moments particuliers (...). Le stimulus déclenche la réponse. Ni la réponse seule ni le stimulus seule ne définissent le réflexe. C'est la relation entre un stimulus déclencheur et une réponse déclenchée qui définit le réflexe. (p. 27)

Katona (1989), à son tour, suggère qu'un réflexe est une réaction de courte durée et qui se produit une seule fois en réponse à un stimulus discret. Dans le cas de la marche automatique, il n'existe pas de stimulus déclencheur pleinement identifié. Zelazo (1983) propose que le contact du pied avec le sol constitue un stimulus inconditionné

qui provoque la réponse de marche; mais il n'existe pas de relation immédiate et inconditionnée entre le contact et la réponse de marche, puisque le déclenchement des mouvements de la marche n'a pas toujours lieu et peut prendre plusieurs secondes quand il a effectivement lieu. D'autres conditions de stimulation déclenchent aussi la marche automatique, comme lorsque l'enfant est soutenu en position verticale sans contact du pied avec une surface quelconque ou bien quand l'enfant est en position supine dorsale (Thelen & Fisher 1982). D'autre part, la marche n'est pas un mouvement unique, discret et rapide comme devrait l'être une réaction réflexe. La marche est plutôt une séquence de mouvements qui constituent un patron complexe, répété et continu, qui apparaît lorsque l'enfant est soutenu dans la position appropriée (Katona, 1989).

Kantor (1924/1985) a signalé quatre caractéristiques principales du réflexe : 1) automaticité relative, 2) constance, 3) permanence et 4) localisabilité.

L'automaticité relative fait référence au fait que la réponse réflexe apparaît une seule fois et de façon immédiate suite à un stimulus. L'acte réflexe inclut un seul mouvement ou bien un seul acte de sécrétion d'une glande (par exemple) qui survient toujours de la même manière. Les autres activités de l'organisme ainsi que sa localisation spatiale n'exercent aucune influence au moment de la présentation du stimulus : autrement dit, il est possible de considérer que la seule présence d'un stimulus adéquat évoquera automatiquement le système réactif. De la même manière, il n'y a pas d'autres réponses intermédiaires entre la présentation du stimulus et l'apparition de la réponse.

Le réflexe est *constant* dans la mesure où la condition de stimulation déclenchante est aussi constante. Cela est une conséquence du caractère adaptatif de l'action réflexe. Le comportement réflexe adapte la personne aux situations les plus simples dans lesquelles elle doit participer ; par exemple, il permet à la personne de s'éloigner des stimulus nocifs immédiats et de se nourrir pour survivre. Or, ces situations d'échappement et d'alimentation constituent des facteurs constants dans l'environnement de l'individu et, par conséquent, les adaptations réflexes restent constantes dans leur caractère fonctionnel et morphologique.

La marche automatique n'est pas un élément constant du répertoire individuel, au moins sans pratique quotidienne, puisqu'elle disparaît de façon naturelle vers l'âge de 2 mois. Il est donc possible que la marche automatique n'ait pas un caractère adaptatif dans les premières étapes du développement. Elle disparaîtrait du fait qu'il n'existe aucun besoin biologique de survie qui permette sa continuation.

La nature élémentaire du réflexe est d'être permanent. Cela veut dire que les systèmes réflexes demeurent simples réflexes, ne souffrent aucune modification et ne sont pas non plus intégrés dans d'autres systèmes de comportements plus complexes. La morphologie et la fonction du réflexe restent toujours les mêmes dans le répertoire individuel.

Des auteurs comme André-Thomas (1952), Forssberg (1985) et Zelazo (1972a, 1972b, 1983) ont démontré dans leurs expériences chez le jeune nourrisson que la marche automatique se perfectionne avec la pratique. Les mouvements lents et exécutés initialement sur la pointe des pieds se transforment en pas réguliers plus semblables à la marche normale chez l'adulte. Les résultats de ces diverses études indiquent donc que les mouvements de la marche automatique sont intégrés plus tard dans la locomotion définitive (e.g. Thelen, 1982; Yamashita, Okamoto, Okamoto, Andrew, & Ogawa, 1999). Par conséquent, la marche automatique n'est pas une réponse permanente, mais plutôt une réponse changeante et malléable.

Tous les réflexes sont *localisés* dans une aire relativement circonscrite. L'organisme agit dans des limites étroites tant au niveau morphologique qu'au niveau spatial, même si le changement produit par le réflexe dans la relation de l'organisme avec son environnement est d'une importance considérable.

En tant que configuration de réponse, la marche automatique implique une aire relativement supérieure à celle qu'un réflexe peut occuper. Dans sa topographie et sa morphologie, la marche est une réponse dont les proportions dépassent les caractéristiques de réponse discrète, automatique et de courte durée caractéristiques du réflexe.

Bien que la marche automatique ait été normalement considérée comme un réflexe (à cause de ses caractéristiques morphologiques), elle ne correspond pas aux critères qui définissent un réflexe. Fonctionnellement, la marche automatique ne remplit pas un rôle adaptatif fondamental, n'est ni constante ni permanente. Elle ne constitue pas une réaction naturelle de l'organisme, dans la mesure où le bébé doit être changé de position pour pouvoir exécuter la marche (le réflexe, en revanche, est une réponse qui se produit sans condition préalable de changement spatial de l'individu).

En résumé, la marche automatique ne peut pas être analysée en tant que réflexe. De quelle manière pourrait-on alors appréhender ce phénomène ? La section suivante présente une brève analyse fonctionnelle de la marche.

ANALYSE FONCTIONNELLE DE LA MARCHE AUTOMATIQUE.

L'analyse de la marche automatique en termes de ses implications pour le développement de la locomotion debout est sans doute importante. La marche néo-natale présente des similitudes avec la marche autonome de telle sorte que plusieurs chercheurs ont pensé qu'il existe une possible filiation entre les deux comportements (Streri, 1994). Il est bien établi que la marche automatique disparaît vers l'âge de 2 mois, tandis que la marche autonome survient quelques mois plus tard (cf. ci-dessus). Cela soulève plusieurs questions. Pourquoi la marche automatique disparaît-elle, si elle garde une relation directe avec la marche dans sa forme définitive ? Par ailleurs, Zelazo et collaborateurs

(1972a, 1972b, 1983) ont bien montré que la marche automatique reste dans le répertoire de l'enfant si elle est pratiquée quotidiennement. Quelles sont les raisons de cette permanence ? La marche automatique est-elle un précurseur de la marche autonome ou définitive ? La réponse à ce type de questions ne peut être unidimensionnelle. Le facteur physiologique en lui-même, ainsi que la description morphologique isolée, ne peuvent rendre compte que d'aspects incomplets du phénomène. Une analyse des aspects interactifs de la marche automatique s'impose donc.

En principe, la marche automatique peut être considérée comme une réaction élémentaire et primitive. Kantor (1924/1985) appelle ce type de réactions « segments simples fondamentaux de comportement ». Simples parce que ce sont des configurations de comportements non élaborés; fondamentaux parce qu'ils sont chronologiquement présents au début de la vie d'une personne. Le réflexe, par exemple, est un type de segment simple fondamental. Cependant, la marche automatique doit être considérée non comme un réflexe, mais plutôt comme un segment émis momentanément. Ces segments de comportement peuvent être vus comme des actions originales d'une personne, autrement dit, des réactions que l'organisme n'a jamais exécutées auparavant. La toute première fois qu'il est mis en position debout, l'enfant se trouve dans une situation nouvelle et réagit avec les mouvements propres de la marche automatique qui constituent une réponse originale (dénuee d'expérience préalable). Selon le même auteur, un segment momentanément émis inclut une série de réponses simples et non-effectives. Ces segments sont de caractère temporaire et changent de forme plus tard. Dans leur forme modifiée, ils peuvent devenir une partie permanente du répertoire individuel sous l'effet de contacts successifs avec les mêmes conditions de stimulation. Dans ce sens, la marche automatique peut servir de prédécesseur de la marche définitive. Les mouvements alternés et réguliers de la marche néo-natale s'intègrent dans la réaction volontaire de la marche autonome, qui implique le fonctionnement d'autres systèmes comme l'équilibre, la vision, etc.

Kantor (1924/1985) a aussi indiqué que les segments émis momentanément sont complètement dépendants des circonstances spécifiques de comportement de l'individu, tant pour leur occurrence que pour la forme qu'ils prennent. Il faut insister sur le fait que les segments momentanés ne constituent pas des comportements fondés sur l'expérience préalable, mais sur les circonstances de stimulation particulières.

Trois caractéristiques définissent le caractère des segments de comportement momentanément émis : 1) spontanéité et variabilité, 2) modifiabilité, et 3) intégration.

Par *spontanéité et variabilité*, Kantor fait référence à l'adaptabilité montrée par les segments émis momentanément. Les membres de la configuration de comportement peuvent être réorganisés pour modifier la chaîne de comportement. La marche automatique, comme nous l'avons signalé, se modifie avec la pratique (e.g. Zelazo, 1972a, 1972b, 1983, 1993) et les variations des conditions de stimulation. Thelen,

Fisher, & Ridley-Johnson (1984) et Thelen & Ulrich (1991), par exemple, ont démontré que lorsque le bébé est placé dans l'eau ou sur un tapis roulant, les mouvements sont facilités, ils sont plus réguliers et fréquents que dans d'autres conditions.

Morphologiquement, les segments émis momentanément sont toujours intégrés dans des configurations de comportement, des séquences ou des chaînes de systèmes réactifs du même type. Les conditions de stimulation ainsi que la constitution biologique de l'organisme favorisent l'opération des segments émis momentanément. L'environnement est d'une importance capitale pour ces réactions ; son caractère incite à l'individu à agir pour s'adapter, par exemple, à un changement de posture dans le cas de la marche. Les stimuli qui déclenchent un segment momentanément émis sont relativement simples. Ce sont des «besoins» dans la forme de conditions et changements de l'environnement, tels que la température, la pression, etc. Naturellement, l'individu est en contact direct avec l'objet-stimulus et les conditions qui fonctionnent comme phases de segments momentanément émis. Par ailleurs, l'organisation biologique de l'organisme permet à l'individu de faire toute sorte d'ajustements en relation avec les stimuli. Le caractère biologique de l'organisme rend probable le fait que certaines formes de comportements soient émises face à un stimulus particulier.

Les segments de comportement émis momentanément ont un caractère temporaire. Cela veut dire qu'un comportement adaptatif de nature momentanée peut disparaître ou bien se modifier jusqu'à ce qu'il devienne une partie intégrale d'un autre comportement plus complexe. Lorsque les conditions qui favorisent l'émission d'un comportement momentané (situation de stimulation et organisation biologique de l'organisme) ne persistent dans aucune circonstance de l'environnement individuel, le segment momentané disparaît du répertoire individuel. Dans le cas de la marche automatique, le contact des pieds avec une surface dans la position debout ne constitue pas une situation de stimulation quotidienne dans l'environnement de l'enfant; par conséquent, il paraît logique que la réponse de la marche disparaisse après quelques semaines. Au moment où la stimulation réapparaît, l'organisme n'est plus capable d'émettre la réponse antérieure, peut-être à cause de modifications importantes dans la structure biologique de l'individu.

Thelen & Cooke (1987) et Thelen, Fisher, & Ridley-Johnson (1984), suggèrent dans leurs études que des changements dans la structure musculaire des bébés interfèrent avec l'exécution des mouvements réguliers nécessaires pour marcher. Ces études montrent aussi que diverses conditions de stimulation (comme lorsque l'enfant est placé sur un tapis roulant ou bien dans l'eau) favorisent les mouvements et exercent une fonction de compensation des «déficits» biologiques (cf. Vereijken, & Thelen, 1997). L'exercice peut être une autre condition qui favorise la marche; dans ce cas, la pratique quotidienne de la marche automatique contribue à renforcer les muscles et le maintien de la posture verticale. La situation de stimulation dans l'environnement de l'enfant est également

prolongée et, par conséquent, le bébé continue à exécuter la marche; les mouvements se perfectionnent dans leur régularité et dans leur exécution, comme Zelazo et ses collègues (1972a, 1972b, 1983, 1993) l'ont démontré.

D'autre part, Thelen & Fisher (1982) ont montré que les mouvements de la marche ne constituent pas une réponse exclusive de la posture debout. Elles ont étudié les mouvements des jambes du bébé dans la position supine dorsale et ont conclu que la structure et morphologie du pédalage est la même que pour les mouvements alternés émis en posture verticale. L'exercice constant de ces mouvements rendrait les muscles des membres inférieurs plus forts et préparerait le bébé pour la marche définitive quelques mois plus tard. Même si la marche automatique ne se pratique dans aucune circonstance, le bébé continue à effectuer des mouvements qui lui permettraient d'atteindre un tonus musculaire approprié au moment de commencer la marche autonome. Il faut souligner que cet exercice ne constitue pas une activité délibérée de l'enfant; celui-ci répond à des conditions de stimulation (comme la posture, par exemple) et exécute les mouvements que la structure biomécanique de ses membres lui permet d'exécuter. Au cours du développement, il est possible d'*intégrer* les mouvements alternés et réguliers (semblables seulement dans leur aspect morphologique à la marche debout) dans des segments de comportements différents, comme la marche à quatre pattes ou la marche autonome.

Il est très probable, dans un segment émis momentanément, que des stimuli différents de ceux qui ont provoqué la réponse deviennent effectifs au niveau de la réponse totale en *modifiant* l'action spécifique pour la rendre plus utile à l'organisme en relation avec son environnement. Au moment d'être intégrée, la fonctionnalité du stimulus initial change, elle est transférée à un autre stimulus; ou bien la stimulation initiale s'intègre dans une séquence qui permet l'exécution d'un comportement de nature différente. Les détails empiriques de cet aspect évolutif du mouvement sont encore inconnus et peuvent constituer une source importante d'information dans la compréhension de l'évolution motrice chez l'humain. À plus long terme, l'étude de la motricité permettrait de lui donner sa juste place dans le débat sur l'origine et l'évolution de l'intelligence.

CONCLUSIONS

L'étude de la marche automatique chez le jeune nourrisson a été l'objet de nombreuses controverses. La marche chez le jeune nourrisson est en fait une réaction étonnante à tout point de vue. Est-elle un précurseur de la marche autonome? Dans ce cas, pourquoi disparaît-elle après quelques semaines? Lorsqu'elle est pratiquée quotidiennement, elle demeure dans le répertoire de l'enfant; quelles sont les raisons de cette permanence? Telles sont les questions principales suscitées par l'observation de la marche automatique

chez le nouveau-né. Pour répondre à ces questions, les chercheurs ont emprunté divers chemins. D'une part, il existe toutes les études physiologiques réalisées pour établir les mécanismes nerveux de contrôle de la marche automatique et/ou autonome. Dans une perspective neurophysiologique, les deux marches seraient qualitativement différentes quant au type de contrôle exercé par le système nerveux sur le mouvement. Le contrôle commencerait au niveau de la moelle épinière et monterait progressivement jusqu'au niveau cortical au cours du développement. Cependant, cette explication n'est pas entièrement satisfaisante. Selon ces auteurs, ce sont des mécanismes inhibiteurs qui induisent la disparition de la réaction en question. Pourquoi, alors, la marche persiste-t-elle lorsqu'elle est pratiquée régulièrement ? Devrait-on supposer que la pratique empêche le développement des mécanismes inhibiteurs ? Et dans quelle mesure la stimulation permanente favorise-t-elle le développement des structures nerveuses qui contrôlent la marche autonome ?

D'autre part, les efforts des psychologues pour expliquer le phénomène ont évolué en deux sens différents. Zelazo (1972a, 1972b) a été le premier à souligner le rôle de la pratique dans l'évolution de la marche. Plus récemment, Zelazo (1983) a inclus le facteur cognitif dans son analyse. Ce facteur serait absent dans l'exercice de la marche automatique, mais serait le moteur fondamental dans l'évolution de la marche autonome. Cependant, Zelazo ne fournit aucune description détaillée de ce facteur, sa nature, son origine ou son développement. S'il existe un facteur cognitif qui fait marcher l'enfant d'un an, pourquoi donc un nouveau-né marche-t-il pas ? Quelles conditions sont nécessaires pour le développement de cet aspect cognitif, apparemment indispensable pour la marche ? Selon ce même auteur, la marche automatique disparaîtrait parce que son exercice n'est pas une pratique quotidienne dans les cultures occidentales. Dans les cultures africaines, par exemple, il est normal de pratiquer et d'encourager l'exercice de la marche automatique dès les premiers jours après la naissance, puisque le facteur moteur est fondamental pour la survie dans ces cultures (dans les nôtres, en revanche, l'aspect moteur a cédé sa place à d'autres expressions du comportement). Dans ces conditions, quelles raisons cognitives, développementales ou comportementales auraient-elles encouragé la pratique de la marche automatique ? Il serait nécessaire d'éclaircir les bénéfices potentiels de cette pratique pour le développement moteur et, éventuellement, le développement cognitif de l'enfant. Il n'est pas tout à fait démontré que la pratique quotidienne de la marche accélère l'acquisition de la marche autonome, mais en tous cas il faudrait se poser la question de l'importance (définie culturellement ou scientifiquement) du fait d'avancer dans le temps l'acquisition de ce comportement.

Thelen et ses collègues (e.g. Thelen, 1987; Thelen & Fisher, 1982; Thelen & Fisher 1983; Thelen, Fisher, Ridley-Johnson, & Griffin, 1982; Thelen, Fisher, & Ridley-Johnson, 1984; Thelen & Ulrich, 1991), ainsi que d'autres auteurs (e.g. Borvendeg et

Groot, 2000) ont étudié d'autres aspects de la marche automatique en relation avec le développement physique de l'enfant. Ces auteurs suggèrent que le développement musculaire de l'enfant induit une décomposition des mouvements de la marche et, en conséquence, sa disparition. Par ailleurs, il existe des facteurs environnementaux capables de compenser les «limitations» physiques de l'enfant dans son exécution de la marche : Tel est le cas des bébés qui sont placés dans l'eau ou bien sur un tapis roulant. Des données comme celles-ci montrent que la marche automatique ne dépend pas seulement de facteurs d'ordre nerveux ou cognitif, mais aussi de l'interaction entre le développement physique du nourrisson et les conditions environnementales avec lesquelles il est en contact direct.

Une solution alternative pour analyser ce phénomène est l'analyse fonctionnelle. Dans cette perspective, les réponses aux questions essentielles pourraient être les suivantes :

1. Pourquoi un nouveau-né marche-t-il ? Parce qu'il répond de cette manière aux changements dans son champ de stimulation. Le changement de posture incite le bébé à effectuer un mouvement. Le mouvement prend la forme d'un pas parce que la structure corporelle du bébé lui permet de faire ce mouvement. Si la structure physique de l'enfant humain était différente, sûrement la réponse aurait une morphologie complètement différente.

2. Pourquoi la marche automatique disparaît-elle après quelques semaines ? La raison est relativement simple : La marche automatique a lieu seulement quand le bébé est mis dans la position debout, qui ne constitue pas une posture naturelle pour le nouveau-né. Étant donné que la marche automatique ne peut pas être exercée sans l'intervention de la main adulte, cette réponse n'a probablement pas de fonction importante pour l'adaptation du bébé à son environnement naturel. La possible fonction de fortification des muscles des membres inférieurs peut être remplie par les mouvements de pédalage que le bébé effectue quand il est dans une position supine dorsale.

3. Pourquoi la marche continue-elle à apparaître si elle est pratiquée quotidiennement ? Parce que les conditions de stimulation qui la provoquent sont maintenues dans l'environnement quotidien de l'enfant. De la même manière, la pratique quotidienne contribue à renforcer et conserver le tonus musculaire nécessaire pour marcher. Par conséquent, les mouvements deviennent plus réguliers et coordonnés au cours de la pratique.

4. La marche automatique est-elle un prédécesseur de la marche autonome ? Seulement au plan morphologique, c'est-à-dire, seulement dans le sens que les pas de la marche automatique sont similaires à ceux de la marche autonome. Fonctionnellement, le deux processus sont de nature différente, dans la mesure où ils répondent à des conditions de stimulation différentes. La marche automatique constitue une réponse

plus simple que la marche autonome, puisque cette dernière implique le fonctionnement de divers systèmes comme la vision et l'audition.

RÉFÉRENCES

- Andersson, O., & Grillner, S. (1981). Peripheral control of the cat's step cycle. I. Phase dependent effects of ramp-movements of the hip during 'fictive locomotion'. *Acta Physiologica Scandinavica*, 113, 89-101.
- Andersson, O., & Grillner, S. (1983). Peripheral control of the cat's step cycle. II. Entrainment of the central pattern generators for locomotion by sinusoidal hip movements during 'fictive locomotion'. *Acta Physiologica Scandinavica*, 118, 229-239
- André-Thomas, & Dargassies, S. A. (1952). *Études neurologiques sur le nouveau-né et le jeune nourrisson*. Paris: Masson.
- Borvendeg, K., & Groot, L. (2000). The stepping response in early infancy. *Neuropediatrics*, 31, 180-185.
- Domellöf, E., Rönqvist, L., & Hopkins, B. (2007). Functional asymmetries in the stepping response of the human newborn: a kinematic approach. *Experimental Brain Research*, 177, 3, 324-335
- Duysens, J., & Pearson, K. G. (1980). Inhibition of flexor burst generation by loading ankle extensor muscles in walking cats. *Brain Research*, 187, 321-332.
- Forsberg, H. (1980). Motor Learning: A neurophysiological review. In K. Bug & B. O. Eriksson (Eds.), *Children and Exercise IX*. (pp. 13-21). Baltimore: University Park.
- Forsberg, H. (1985). Ontogeny of human locomotor control: I. Infant stepping, supported locomotion and transition to independent locomotion. *Experimental Brain Research*, 57, 480-493.
- Forsberg, H., Grillner, S., & Halbertsma, J. (1980). The locomotion of the low spinal cat I. Coordination within a hindlimb. *Experimental Brain Research*, 50, 184-186
- Forsberg, H., Grillner, S., Halbertsma, J., & Rossignol, S. (1980). The locomotion of low spinal cat II. Interlimb coordination. *Experimental Brain Research*, 50, 247-304.
- Forsberg, H., & Wallberg, H. (1980). Infant locomotion: A preliminary movement and electromyographic study. In K. Bug, & B. O. Eriksson (Eds.), *Children and Exercise IX*. (pp. 32-40). Baltimore: university Park.
- Francis, P. L., Self, P. A., & Horowitz, F. D. (1987). The behavioral assesment of the neonate: an overview. In J. D. Osofsky (Ed.), *Handbook of infant development: Second edition*. (pp. 723-779). New York: John Wiley & sons.
- Grillner, S. (1973). Locomotion in the spinal cat. In R. B. Stein, K. G. Pearson, R. S. Smith, & J.B. Redford (Eds.), *Control of posture and locomotion*. (pp. 515-535). New York: Plenum.
- Hiebert, G. W., Gorassini, M. A., Jiang, A., Prochazka, A., & Pearson, K. G. (1994). Corrective responses to loss of ground support during walking. II. Comparison of intact and chronic spinal cats. *Journal of Neurophysiology*, 71, 611-622.
- Hiebert, G. W., Whelan, P.J., Prochazka, A., & Pearson, K.G. (1996). Contribution of hindlimb flexor muscle afferents to the timing of phase transitions in the cat step cycle. *Journal of Neurophysiology*, 75, 1126-1137.
- Kantor, J. R. (1985). *Principles of psychology*. (Vol I). Chicago: Principia.
- Katona, F. (1989). Clinical neuro-developmental diagnosis and treatment. In P. R. Zelazo, & R. G. Barr (Eds.), *Challenges to developmental paradigms: implications for theory, assesment and treatment*. (pp. 167-187). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

- Lamb, T., & Yang, J. F. (2000). Could Different Directions of Infant Stepping Be Controlled by the Same Locomotor Central Pattern Generator? *Journal of Neurophysiology*, 83, 2814-2842
- Lécuyer, R. (1986) Habituation visuelle, réaction à la nouveauté et intelligence chez le nourrisson. *Bulletin de Psychologie*, 40, 815-831.
- Leonard, C. T., Hirschfeld, H., & Forssberg, H. (1991). The development of independent walking in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 33, 567-577.
- Lundberg, A. E. (1980). Normal and delayed walking age: A clinical and muscle morphological and metabolic study. In K. Bug, & B. O. Eriksson (Eds.). *Children and Exercise LX*. (pp. 23-31) Baltimore: University Park.
- Pang, M. Y., & Yang, J. F. (2000). The initiation of the swing phase in human infant stepping: importance of hip position and leg loading. *Journal of Physiology*, 528, 389-404
- Pang, M. Y., & Yang, J. F. (2001). Interlimb co-ordination in human infant stepping. *Journal of Physiology*, 533, 617-625
- Malcuit, G., Pomerleau A., & Maurice, P. (1995). *Psychologie de l'apprentissage: termes et concepts*. Québec: Edisem.
- McGraw, M. B. (1945). *The neuromuscular maturation of the human infant*. New York: Columbia University.
- Merleau-Ponty, M. (2006). *La structure du comportement*. France: Quadrige.
- Streri, A. (1994). Motricité et sensori-motricité. La croissance physique et le contrôle des postures. In R. Lécuyer, M. G. Pêcheux, & A. Streri, *Le développement cognitif du nourrisson. Tome 1*. (pp. 97-108) Paris: Nathan.
- Thelen, E. (1987). Relationship between newborn stepping and later walking: a new interpretation. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 29, 380-393.
- Thelen, E., & Fisher, D. M. (1982). Newborn stepping: an explanation for a «disappearing» reflex. *Developmental Psychology*, 18, 760-775.
- Thelen, E., & Fisher, D. M. (1983). From spontaneous to instrumental behavior: kinematic analysis of movement changes during very early learning. *Child Development*, 54, 129-140.
- Thelen, E., Fisher, D. M., & Ridley-Johnson, R. (1984). The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant Behavior and Development*, 7, 479-493.
- Thelen, E., Fisher, D. M., Ridley-Johnson, R., Griffin, N. J. (1982). Effects of body build and arousal on newborn infant stepping. *Developmental Psychobiology*, 15, 447-453.
- Thelen, E., & Ulrich, B. D. (1991). Hidden skills: a dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 56, 1-103.
- Vereijken, B., & Thelen, E. (1997). Training infant treadmill stepping: the role of individual pattern stability. *Developmental Psychology*, 30, 89-102.
- White, T. D. (1980). Evolutionary implications of pliocene hominid footprints. *Science*, 208, 175-176.
- Yamashita, H., Okamoto, K., Okamoto, T., Andrew, P. D., & Ogawa, R. (1999). Application of an Electromyographic Index of Gait Instability to Developmental Process of Supported Walking in Normal Neonates and Infants. *Journal of Physical Therapy Science*, 11, 1-10.
- Yang, J. F., Stephens, M.J., & Vishram, R. (1998a). Infant stepping: a method to study the sensory control of human walking. *Journal of Physiology*, 507, 927-937
- Yang, J. F., Stephens, M.J., & Vishram, R. (1998b). Transient disturbances to one limb produce coordinated, bilateral responses during infant stepping. *J Neurophysiol*, 79, 2329-2337.
- Zelazo, P. R. (1983). The development of walking: new findings and old assumptions. *Journal of Motor Behavior*, 15, 99-137.

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

Zelazo, P. R., Zelazo, N. A., & Kolb, S. (1972a). Walking in the newborn. *Science, 177*, 314-315.

Zelazo, P. R., Zelazo, N. A., & Kolb, S. (1972b). Newborn walking. *Science, 177*, 1058-1059.

RÉSUMÉ

Le marche automatique du nouveau-né est un phénomène qui a suscité plusieurs questions autour de sa signification tant pour le comportement du nourrisson, que pour le développement de la marche définitive. Il existe au moins deux types d'explications qui ont été données comme étant les plus plausibles : a) explications d'ordre neurologique et physiologique, et b) explications de type développementales. Aucune de ces explications ne s'est avérée concluante et suffisamment satisfaisante jusqu'à présent. Nous présentons une analyse alternative de la marche automatique du nourrisson, basée sur une perspective comportementale. Depuis cette perspective, nous essayons de répondre aux questions fondamentales montrant que la marche automatique constitue un phénomène de nature différente à celui de la marche autonome et dont la signification dépend du rôle adaptatif qu'elle peut jouer dans le développement.

Mots clés : marche automatique, explications neurophysiologiques, explications développementales, analyse fonctionnelle

ABSTRACT

Infant stepping is a controversial phenomenon which meaning for the development of the autonomic walking has been largely questioned. Two types of explanations had been proposed by different authors: a) neurological and physiological explanations, and b) behavioral or developmental perspectives. The former have been based upon the central or spinal control of infant movements. The bottoms have taken the neurological and physiological accounts to define the developmental meaning of infant stepping. None of them had proposed a complete or conclusive explanation of this phenomenon until now. We show a different analysis based on a behavioral perspective. We try to answer the basic questions: Why an infant shows a consistent stepping pattern during several weeks after birth? Why infant stepping disappears after a few weeks? Why infant stepping continues in the infant repertoire if it is practiced along several months? Does infant stepping becomes an integral part of autonomic walking? We show that both, infant stepping and autonomic walking are different in nature and that any meaning of infant stepping depends upon its adaptational function.

Keywords: infant stepping, neurophysiological accounts, developmental accounts, functional Analysis