

# sommaire

## le bulletin scientifique de l'arapi

**Directeur de la publication :**  
René Cassou de Saint Mathurin

**Rédacteurs en chef :**  
Évelyne Soyez  
Julien Girard

**Maquette :**  
Julien Girard

**Couverture :**  
Virginie Schaefer

**Illustrations :**  
Salim Taleb (tous droits réservés)

**Impression :**  
Présence Graphique, Monts (37)  
n° ISSN : 1288 – 3468  
dépôt légal, Novembre 2015.

*Les textes publiés dans ce bulletin  
le sont sous la responsabilité de  
leur auteurs*

**arapi**  
BP 91603, 37016 Tours cedex 1  
contact@arapi-autisme.fr  
www.arapi-autisme.fr  
06 33 23 28 31  
02 47 45 27 02

### Editorial

Évelyne Soyez et Julien Girard .....3

La marche humaine et son initiation

Arnaud Delafontaine .....7

### Quelles particularités motrices dans les TSA ?

Démarche sur la pointe des pieds chez l'enfant

Michel Robert .....12

Le contrôle postural et la locomotion des adolescents  
et adultes avec TSA

Anouk Amestoy et collègues .....18

### Quelles niveaux d'implication possibles ?

Locomotion et développement psychologique de l'enfant :  
plaidoyer pour une intervention précoce ?

Marianne Barbu-Roth et David Anderson.....25

Relations Emotion / mouvement volontaire chez  
le jeune enfant avec autisme

Sylvie Vernazza-Martin, S. Longuet et M. J. Orève .....34

Le développement sensorimoteur : Une étape fondatrice  
dans le développement cognitif de l'enfant

Christine Assaiante .....41

### Quelles remédiations ?

Acquisition motrice et marche chez les enfants  
avec trouble du spectre de l'autisme

Noémie Gazaniol .....47

Intérêt d'une préparation physique adaptée pour  
l'apprentissage du ski chez le jeune autiste

Véronique-Aurélie Bricout et collègues .....54

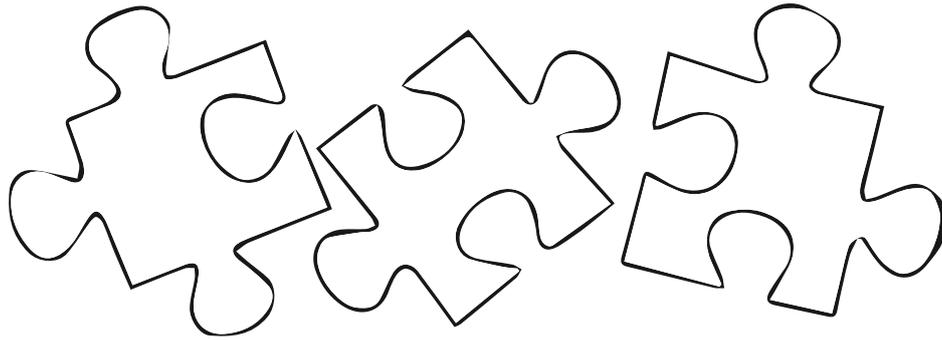
L'imitation : un partage moteur au service du développement

Jacqueline Nadel .....62

### Notes de terrain

« Sur la motricité dans le domaine de l'autisme »

Jean-Pierre Malen et Christelle Vallès .....69



## Le Conseil d'Administration de l' **arapi**

(issu de l'AG du 28 mars 2015)

### **Bureau**

#### *Président :*

René Cassou de Saint Mathurin (Pro)

#### *Vice-Présidents :*

Patrick Chambres (Parents)

Catherine Barthélémy (Pro)

#### *Secrétaire Général :*

Bernadette Salmon (Parents)

#### *Secrétaire Général adjoint :*

Jean Pierre Malen (Pro)

*Trésorière :* Josiane Scicard (Parents)

*Trésorier adjoint :* Jean-Paul Dionisi (Pro)

### **Membres**

#### **Collège Professionnels**

Anouk Amestoy

Francesc Cuxart

Pascale Dansart

Pascaline Guérin

S. Recordon-Gaboriaud

Marie-Françoise Savet

René Tuffreau

Eric Willaye

#### **Collège Parents**

Jean-Louis Agard

Sophie Biette

Mireille Lemahieu

Jacqueline Mansourian-Robert

Monique Pineau

Didier Rocque

Jean-Jacques Taillandier

Karima Taleb-Mahi

Jean-Claude Theuré

## Le Comité Scientifique de l' **arapi**

(désigne le 14 juin 2014)

*Présidente :* Pascaline Guérin (Pro)

*Vice-Présidente :* Nadia Chabane (Pro)

*Secrétaire :* Nicole Bruneau (Pro)

#### **Collège Professionnels**

Catherine Barthélémy

Francesc Cuxart

Pierre Defresne

Dominique Fiard

Eric Lemonnier

Ghislain Magerotte

Jean-Pierre Malen

Annalisa Monti

Jacqueline Nadel

Bernadette Rogé

Evelyne Soyez

Carole Tardif

Roberto Toro

Eric Willaye

#### **Collège Parents**

Jean-Louis Agard

Sophie Biette

Patrick Chambres

Dominique Donnet-Kamel

Marie-France Epagneul

Julien Girard

Bernadette Salmon

Jean-Jacques Taillandier

## Editorial

ÉVELYNE SOYEZ & JULIEN GIRARD

Pour inaugurer une nouvelle formule éditoriale, à savoir un bulletin scientifique « à thème », nous avons choisi de présenter et de développer les savoirs récents concernant la motricité des personnes avec autisme. Ce numéro spécial se propose de suivre l'actualité de travaux de chercheurs et de professionnels impliqués dans l'autisme. À première vue, les troubles de la motricité dans les TSA<sup>1</sup> semblent bien loin des préoccupations : qualifiés de trop imprécis ou trop « bas niveau » !

Qu'on ne s'y trompe pas, ces troubles requièrent une approche multidisciplinaire et une expertise très précise, tant au niveau clinique qu'au niveau de la recherche. La controverse est toujours ouverte sur la place de ces troubles dans l'autisme infantile : selon les publications, c'est le « tout » ou « rien ».

Du point de vue des diagnosticiens, le vide sémiologique dans ce domaine a plusieurs raisons : des examens neurologiques trop longs, trop raffinés, trop peu utilisés au quotidien du pédiatre ; des difficultés pour examiner un enfant avec des troubles de comportement au-delà de deux ans, en raison de son refus de participer ; les résultats, basés sur une dysfonction motrice elle-même labile, âge-dépendante, souvent au premier plan dans les deux premières années de la vie puis s'estompant au profit de dysfonctions dans d'autres domaines.

Et pourtant, en observant le développement de leur enfant, les parents peuvent parfois s'étonner d'un ou plusieurs points retrouvés de façon répétée, les observations isolées ou occasionnelles ayant peu d'intérêt.

Les plus fréquentes, repérées par la famille, portent sur des difficultés persistantes à téter, à ne pas tenir sa tête à 4 mois « corrigés » (pour les anciens prématurés, l'âge d'état civil est corrigé : le calcul part de la date prévue du terme et non de la date de naissance).

Ces dysfonctionnements développementaux, malencontreusement qualifiés de « retards », attirent l'attention de l'entourage, du pédiatre et des thérapeutes du développement appelés à la rescousse. Il peut s'agir de décalage qualitatif dans les acqui-

sitions motrices avec impossibilité de dérouler le « calendrier moteur » en temps et en heure ou la dysharmonie dans sa mise en place, avec le plus souvent une hypotonie globale.

Il peut également s'agir de biaisage dans la prise de contact oculaire, d'une succion peu efficace, ainsi qu'une hyperexcitabilité réactivée par toute stimulation. Puis l'organisation d'une démarche en équin, continue, exagérée par la vitesse de déplacement (par exemple la course) vient se combiner avec l'apparition de stéréotypies motrices variées.

*Pourquoi porter une telle attention au développement moteur ?*

Parce que le calendrier moteur est assez précis, malgré des variations individuelles et parce que les difficultés motrices rendent plus attentif sur d'autres domaines du développement (le comportement, la communication, le sommeil, l'alimentation). Les inquiétudes ne sont pas forcément marqueurs de problèmes graves, mais vont nécessiter une vigilance accrue.

Des dysfonctions sensorielles sont également repérables précocement, ajoutant ainsi aux inquiétudes. Il s'agira d'hyper ou d'hypo discriminations précoces pouvant toucher toutes les sensorialités : olfaction, gustation, tact, équilibration en plus de la vision et de l'audition, plus accessibles aux investigations. La préoccupation concernant ces troubles précoces mobilise les cliniciens depuis des décennies, avec jusqu'à présent peu d'écho dans la communauté scientifique. Le concept *Early Symptomatic Syndromes Eliciting Neurodevelopment Clinical Examinations* (ESSENCE) développé par le Prof. Gillbert au cours de la récente Université d'Automne de l'ARAPI (édition 2015) vient enfin appuyer nos recherches en ce sens, bien mises en évidence dans l'examen neuropédiatrique ATNAT<sup>2</sup> depuis les années 90. La plupart du temps, les décalages dans les acquisitions, ou la dysharmonie dans le déroulement de ce calendrier moteur sont accompagnés par une plus ou moins grande hypotonie globale.

1. Troubles du Spectre de l'Autisme

2. « Evaluation neurologique de la naissance à 6 ans », C. Amiel-Tison, J. Gosselin, ed. du CHU Sainte Justine (1998,2007) ISBN 978-2-294-09109-4 (ed. Elsevier-Masson)

La motricité pourrait être explorée selon plusieurs modalités :

#### *la motricité spontanée*

*In utero*, le bébé bougeait beaucoup, ses exercices préparatoires étaient facilités par le milieu aquatique, mais limités en amplitude par le manque d'espace. Puis, dans les premières semaines de sa vie, sur la table à langer, il bouge par vagues ; les mouvements de ses bras, de ses jambes et de son corps sont harmonieux ; il semble y prendre plaisir ; ses mains s'ouvrent. Il s'immobilise quand il fixe son attention.

Plus tard, l'enfant fait des acquisitions selon un calendrier lié à la maturation de son cerveau mais aussi aux sollicitations de son environnement. Tout d'abord, c'est la *motricité globale* qui est concernée, c'est à dire le maintien et le déplacement ; puis, dans la prise et la manipulation d'objets de plus en plus petits, c'est la *motricité fine*, la gestuelle.

L'état de tension de ses muscles change aussi avec l'âge : on voit cette évolution à la position de ses membres : jusqu'à 3 mois, les 4 membres sont repliés près du corps ; vers 3 mois les membres supérieurs se déplient ; puis vers 6 mois les membres inférieurs se relâchent également. Pendant les premiers mois, l'enfant est très contracté, il est difficile de lui enfiler les manches de son manteau. Vers 10 mois, il est complètement souple, il n'y a plus de résistance et l'amplitude de ses mouvements est complète.

Jusqu'à la marche, le fil conducteur de la maturation neuromotrice se résume grossièrement par la « vague ascendante » de myélinisation des voies corticospinales ; le contrôle « cortical » progresse très rapidement de la tête vers les pieds et « recouvre » complètement le contrôle sous cortical si apparent à la période néonatale.

Le premier indice du contrôle moteur supérieur est à rechercher au niveau du cou par la manoeuvre du tiré-assis, témoignant de la contraction active des fléchisseurs du cou et des muscles extenseurs du cou qui aboutit à deux mois en moyenne au contrôle de la tête.

À la même période, la réaction d'extension en position debout diminue puis disparaît, alors que le tonus actif de l'axe continue à se développer pour permettre la position assise à sept mois en moyenne. La station debout va ensuite apparaître sous forme volontaire et la marche indépendante être acquise à treize mois en moyenne.

#### *la motricité empêchée*

- En situation extrême : l'expérience vécue par les enfants placés dans les orphelinats de Roumanie, pendant les années « Ceaucescu » a été très particulière. En effet, l'interdiction de descendre des lits à barreaux avant l'âge de deux ans était stricte. La conséquence, outre des répercussions sur la forme des têtes de leurs fémurs, était un décalage dans l'acquisition de la marche. Mais, et ceci supposerait une recherche approfondie, celle-ci se perfectionnait très rapidement sitôt la possibilité de s'exercer reprise, une semaine plus tard environ à la manière d'un ressort fonctionnel qui se détendrait enfin, après avoir été maintenu comprimé.
- Du fait d'une pathologie : une lésion au cerveau, une grande prématurité, une hydrocéphalie, certaines anomalies génétiques ou une pathologie périphérique comme une myopathie, entraînent des séquelles motrices. Toutefois, celles-ci ne sont pas identiques, ni dans leur intensité, ni dans leur répercussion sur le développement général de l'enfant.
- Dans le cadre des TSA, l'activité spontanée est pauvre, ritualisée ou stéréotypée. Parfois une échopraxie (imitation des gestes des autres) vient se surajouter ainsi que des stéréotypies gestuelles et posturales, de tous ordres. L'enfant garde le dos rond quand il est placé en position assise alors qu'il a 8 mois ; il ne tient pas assis à 9 mois corrigés ; il ne marche pas à 18 mois corrigés et garde les membres inférieurs très écartés, tombe très souvent alors qu'il marche déjà depuis plusieurs mois. Sa démarche reste maladroitte ; il est lent à apprendre à courir, à monter et surtout à descendre les escaliers. Il présente une maladresse générale dans les mouvements globaux mais aussi fins, avec une tendance à laisser tomber les objets, à trébucher et à buter sur les obstacles.

#### *En quoi consiste l'optimalité neuromotrice ?*

Elle ne se résume pas à l'apparition, une à une, des acquisitions sensorielles et motrices selon un calendrier bien défini, mais comme la *mise à feu successive* « des différents étages de la fusée » du *développement moteur*, ces étages pré-existant à leur actualisation, se précédant, se succédant en interférences.

Si le déroulement typique du calendrier moteur est utile, donnant des indications fonctionnelles binaires (par exemple, il tient assis/il ne tient pas assis, il tient debout/il ne tient pas debout, il marche/il ne marche pas), il ne remplace pas l'examen précis du pédiatre, basé sur la neurologie. En effet, un délai dans les acquisitions recouvrent le plus souvent des déviations dans les performances motrices mais aussi dans l'ensemble du développement de l'enfant.

Si les inquiétudes se précisent, la recherche systématique de signes neuromoteurs peut mettre en évidence une symptomatologie précoce, même mineure. Ces signes serviront de fil conducteur dans l'interprétation des dysfonctions successives, qui sont âge-dépendantes.

L'étude de ces dysfonctions (troubles de la marche, troubles sensorimoteurs, difficultés dans la mise en place des apprentissages de base : imitation, théorie de l'esprit, mémorisation puis communication verbale, fonctions exécutives...) permettra de repérer, de dépister, de diagnostiquer plus rapidement, suivi par une intervention plus précoce, plus précise.

Toutes les fonctions motrices peuvent être atteintes : la répartition du tonus, les fonctions de coordination visuo-manuelle, d'anticipation des ajustements posturaux, d'organisation du mouvement et d'intention qui supposent une motivation pour agir et l'organisation de l'action pour un but. La désorganisation souvent constatée pourrait être considérée comme un signe précoce entraînant une intervention, afin de prévenir autant que faire se peut la désorganisation éventuelle des fonctions exécutives. Un programme d'intervention précoce sera organisé, sans retard, en partenariat avec la famille et l'entourage élargi, dans l'intérêt de l'enfant.

Les articles, faisant l'objet de ce bulletin consacré à la motricité dans les TSA, se donnent comme objectif de décrire l'évolution des connaissances et des interrogations dans ce domaine.

Il faut admettre un véritable changement de paradigme, les données actuelles permettant de remettre en question un certain nombre d'idées reçues à propos de la motricité, tel que l'existence de « patterns » réflexes permettant, lorsqu'ils sont sollicités, d'automatiser l'ensemble de l'activité posturale et gestuelle.

Avant d'exposer les problèmes spécifiques de la motricité chez les personnes avec TSA, il nous a paru indispensable de refaire le point sur le développe-

ment de la motricité et son expression globale, à savoir la marche.

1. **Arnaud Delafontaine** (Kinésithérapeute) fera donc une analyse du développement de la marche typique.

*Quelles particularités motrices dans les TSA ?*

2. **Michel Robert** (Service d'Orthopédie pédiatrique, CHR ORLEANS) s'interrogera sur la « Démarche sur la pointe des pieds chez l'enfant ». Afin d'en finir avec le « faux équin psychologique », la question d'un éventuel substratum neurologique ou la présence d'un problème orthopédique associé fait débat.

3. **Anouk Amestoy** (CRA Aquitaine - CH C. Perrens ; INCIA - CNRS UMR 5287, Bordeaux) et collègues traiteront des dysfonctions dans le contrôle postural et la locomotion des adolescents et adultes avec TSA. Quel retentissement tout au long de la vie, où se rajoutent des stéréotypies motrices et une baisse globale des compétences motrices ?

*Quels niveaux d'implication possibles ?*

4. Dans l'article suivant intitulé « Locomotion et développement psychologique de l'enfant » ; **Marianne Barbu-Roth** (Institut Neurosciences et Cognition, Université Paris-Descartes) reviendra sur les liens entre l'acquisition de la marche et le développement de l'enfant dans toutes ses composantes : motrices, spatiales, sensorielles, de communication, de relation.

5. **Sylvie Vernazza-Martin** (Université Paris Ouest, Nanterre) et collègues présenteront un étude sur les « Relations Emotions / mouvements volontaires chez le jeune enfant avec autisme. Le mouvement / l'interaction avec l'environnement / motivation / processus cognitifs et sensori-moteurs sont étudiés dans une étude s'intéressant au lien qui peut exister entre un comportement moteur interactif et les émotions suscitées par ce comportement chez le jeune enfant avec autisme.

6. Dans l'article suivant, **Christine Assaïante** (Laboratoire de Neurosciences Cognitives, Université Aix-Marseille) porte ses interrogations et son point de vue sur « Le développement sensori-moteur : une étape fondatrice dans le développement cognitif de l'enfant ». Le développement sensori-moteur de l'enfant permet le dialogue entre celui-ci et son milieu, dès la naissance. L'adaptation aux exigences de l'environnement et aux motivations de l'enfant, en négociation constante avec la croissance,

l'augmentation des possibilités sensori-motrices, la pesanteur mobilisent l'énergie et dirige le comportement.

### *Quelles remédiations ?*

7. **Noémie Gazaniol** (Kinésithérapeute) proposera quelques réflexions méthodologiques, ancrées dans des pratiques basées sur les preuves (*Evidence-based Practice*), autour des activités cliniques importantes que sont l'évaluation et l'intervention. Ce point de vue est celui d'un praticien de terrain qui reçoit dans son bureau privé, une praticienne, seule face à l'enfant et ses parents.

8. **Véronique Bricout** (Maître de conférence, CHU Grenoble) et collègues traiteront à leur tour la question des propositions thérapeutiques et identifieront des conditions très particulières, à savoir la pratique du ski selon un dispositif innovant.

9. Puis **Jacqueline Nadel** (CNRS Centre Emotion, ICM, Université Pierre et Marie Curie Hôpital de la Salpêtrière) introduira la notion de remédiation en présentant la thématique de l'imitation comme médium, source d'inspiration pour les programmes thérapeutiques à mettre en place le plus précocement possible.

10. Pour finir, au travers de notes de terrain, **Jean-Pierre Malen** et Christelle Vallès (Psychiatres en IME) passeront en revue les différentes anomalies de la motricité existantes à prendre en compte chez les personnes autistes de tout âge.

L'ensemble de ces contributions, beaucoup plus complexes, nombreuses, précises que ce que nous imaginions, permettra de dresser un premier bilan sur les interrogations concernant le lien entre motricité et apprentissages fondamentaux. Qu'en déduire pour cibler de nouvelles pistes thérapeutiques ? Quels programmes d'intervention ? Quels champs de compétence sont concernés ?

Nous espérons que ce numéro donnera l'envie d'approfondir les recherches et les pratiques portant sur l'importance de la motricité dans le repérage précoce des anomalies de développement.

Nous espérons également que la mise en évidence des liens entre sensori-motricité et apprentissages fondamentaux contribuera aux échanges interdisciplinaires, afin d'améliorer les propositions thérapeutiques au niveau de compétence que les enfants sont en droit d'attendre.

*E. Soyez est Ostéopathe DO, qualifiée en Neuropédiatrie, DIU Déficience Intellectuelle-Handicap Mental, Laboratoire de Psychologie de la Perception Paris Descartes.*

*J. Girard est docteur en Astronomie et Astrophysique de l'Observatoire de Paris, Chercheur Post-doctoral en Radio astronomie à l'Université de Rhodes, Grahamstown, Afrique du Sud.*

*Tous deux sont membres du Conseil Scientifique de l'ARAPI (2015).*

Bonne lecture ! E.S & J. G.

# La marche humaine et son initiation

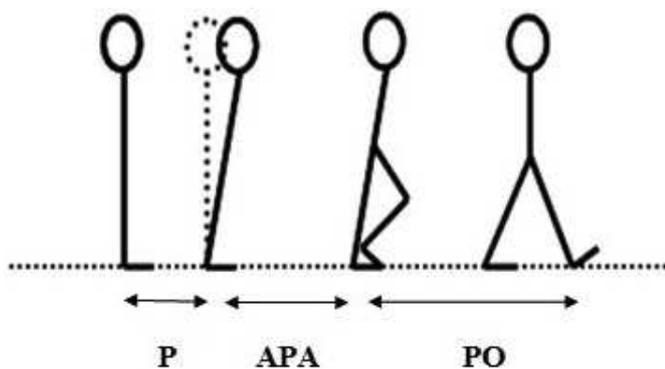
Arnaud Delafontaine <sup>1</sup>

## Introduction

**P**OUR tout patient, « marcher » reste l'activité motrice la plus importante car elle est vectrice d'autonomie fonctionnelle. Les paramètres spatio-temporaux de la marche (longueur du pas, fréquence, vitesse de marche...) sont la plupart du temps évalués au cours de la marche.

Cependant, tous ces paramètres sont en réalité invariables [10]. En effet, l'initiation du premier pas joue un rôle prédictif dans la biomécanique de la locomotion. L'initiation de la marche (IM) est définie comme la transition d'une posture debout immobile à un état de marche stationnaire. Elle se compose d'une phase de préparation posturale et d'une phase oscillante (PO). Son évaluation est indispensable pour comprendre l'adaptation des processus biomécaniques notamment en cas de boiterie.

Pour initier le pas, le corps doit générer des forces de propulsion et dans le même temps maintenir le contrôle de l'équilibre postural. Nous allons donc présenter les processus biomécaniques sous-jacents à ces deux pré-requis.



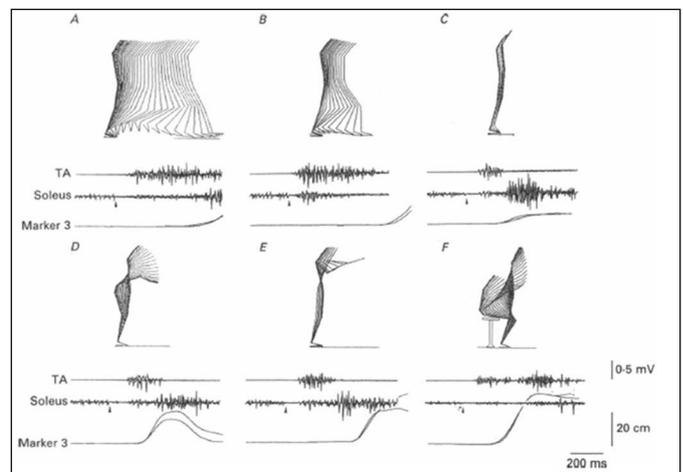
**Fig. 1** – Protocole expérimental d'IM. P : posture debout ; APA : phase des ajustements posturaux anticipateurs ; PO : phase oscillante correspondant à l'exécution du premier pas.

## La phase de préparation posturale et génération des forces de propulsion

L'exécution de tout mouvement volontaire est précédée par la mise en jeu de mouvements prépara-

toires. Ces mouvements préparatoires anticipés, régulés par le SNC <sup>2</sup> en boucle ouverte sans utilisation de feedback rétro-correctif [30], sont nommés « ajustements posturaux anticipateurs » (APA, Figure 1). Le rôle fonctionnel des APA est de réduire les futures perturbations qui s'opposeront à l'exécution du mouvement afin de permettre le maintien de l'équilibre postural au cours de celui-ci [3, 28, 8, 30, 6]. Les APA intéressent aussi bien les mouvements analytiques du membre supérieur [7] que les mouvements globaux tels que la marche et son initiation [13, 21, 17, 29, 12, 28].

Au cours de la phase de préparation posturale, on observe chez le sujet sain la séquence « inhibition du Soleus/activation du Tibialis Anterior (TA) » sur chacun des deux membres inférieurs de façon simultanée et stéréotypée (Figure 2).



**Fig. 2** – Séquence motrice « inhibition des Soleus/activation des Tibialis Anterior » permettant l'initiation d'un acte moteur orienté antérieurement. A : membre d'appui initiant la marche ; B : membre oscillant initiant la marche ; C : montée sur la pointe des pieds ; D : flexion antérieure du tronc ; E : lancé vers l'avant à deux mains ; F : se relever [18].

Pendant la phase d'anticipation posturale, l'activité électromyographique (EMG) du Tibialis Anterior (TA) covarie de façon linéaire avec le recul du centre de pression [18, 28]. De plus, Cook & Coz-

1. Kinésithérapeute DE, PhD Sciences de la motricité et sciences humaines (Paris Sud), DIU de neurologie périnatale (P7).

2. Système Nerveux Central

zens [17] ont montré chez le sujet sain que l'augmentation de l'activité EMG du TA était liée à l'accroissement de la vitesse de marche. La contraction bilatérale du Tibial Antérieur permet donc de faire reculer le centre des pressions créant ainsi un « couple de déséquilibre » entre le centre de pression (CP) et le centre de gravité (CG). La création de ce couple de déséquilibre est une condition indispensable pour pouvoir initier le pas. En effet, le corps se comporte comme un pendule inverse. Au cours cette phase, l'activité EMG du muscle Soleus reste tonique et ce, particulièrement sur le pied d'appui. Cette activité servirait à augmenter la raideur de cheville pour conférer une base posturale stable au départ du mouvement d'IM. Concernant le Soleus du membre inférieur oscillant, Breniere & Do [10] ont montré que l'activation de ce muscle permettait le décollement du talon. Cette activation, bien que modifiant les pressions sous le pied pendulaire, n'aurait aucun effet propulsif sur le CG et ne modifierait donc pas la vitesse de progression du centre de gravité [28, 10, 33].

Au cours de la phase d'anticipation, les forces de propulsion sont majoritairement produites sous le futur pied oscillant [33]. En effet, pendant la période de préparation posturale les forces verticales produites sous le futur pied pendulaire augmentent de façon importante [39] en corrélation avec l'amplitude du mouvement [4] tandis que celles localisées sous le pied d'appui diminuent suite à une activité musculaire quasi-isométrique. Cette variation de forces verticales entre le pied d'appui et le futur pied oscillant n'est pas observée lorsque la jambe quitte passivement le sol suite à une poussée du sujet au niveau de l'épaule [19].

### **Génération des forces de propulsion lors de la phase d'exécution du mouvement**

De nombreuses études ont attribué aux muscles fléchisseurs plantaires de cheville, et notamment au Soleus du pied d'appui, un rôle fonctionnel de « poussée » sur le sol lors de l'exécution du pas [45, 26, 36, 32, 5].

Cependant, les résultats obtenus chez l'amputé viennent contredire cette hypothèse. En effet, chez l'amputé [33] la vitesse de progression du CG reste identique, que la marche soit initiée avec un pied d'appui sain ou un pied d'appui prothétique. Le Soleus n'aurait donc pas un rôle propulseur mais interviendrait principalement dans le contrôle de l'équi-

libre postural en participant activement au freinage de la chute verticale du CG [43] ainsi qu'à celui de son moment antérieur lors de l'IM [41, 23]. Il contrôlerait également indirectement la longueur du pas [41, 23].

De plus, l'activité du Soleus du pied d'appui sain chez le sujet amputé fémoral et tibial s'accompagne d'une accélération vers le bas et l'avant du CG dans 50% des enregistrements d'IM [33]. Cela est en inadéquation avec l'hypothèse propulsive attribuée au Soleus.

Au final, la génération des forces de propulsion au cours de l'IM ne résulterait pas de l'action du Soleus mais serait la conséquence d'un mouvement balistique décrivant une chute vers l'avant [28]. Les forces de propulsion pourraient être également produites par un mouvement de « balancé » du membre inférieur pendulaire [44] ou du tronc [42, 31] et par l'activité des muscles fléchisseurs de hanche [1, 40].

La plupart des patients présentant des déficits de génération des forces de propulsion seraient donc obligés de compenser passivement avec une projection du tronc en avant (boiterie de salutation) ou bien en projetant la jambe pendulaire vers l'avant (pouvant expliquer le mécanisme de fauchage ou la présence d'un récurvatum<sup>1</sup> après contact talonnier du membre oscillant).

### **Contrôle de l'équilibre postural : un processus asymétrique de freinage assuré par le pied d'appui**

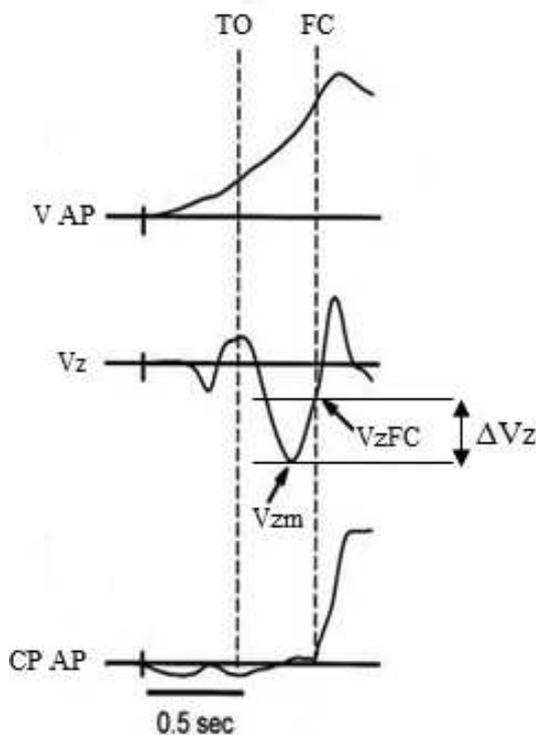
Lors de l'IM chez le sujet sain, le centre de gravité sort de la base de sustentation lors du décollement du pied pendulaire [10]. Le corps n'est donc plus à cet instant en situation d'équilibre et compte tenu de son avancée, le CG chute verticalement sous la contrainte des forces gravifiques [45]. En effet, chez le sujet sain, la vitesse verticale maximale atteinte par le centre de gravité lors de sa chute est corrélée à la longueur du pas : plus la longueur du pas est grande plus cette vitesse est élevée [43, 16].

La vitesse verticale de chute du CG montre des valeurs négatives durant la phase de simple appui comprise entre le décollement des orteils (TO) et le poser du pied pendulaire (FC). Elle décrit ainsi une courbe en « V », caractéristique de cette chute (Figure 3). Or, avant le poser du pied, on observe une décélération de la vitesse verticale de chute du CG perdurant jusqu'au FC [16, 43]. Cette décélération traduit la mise en place d'un processus de freinage de la chute du CG permettant ainsi au corps

1. Déformation du genou dans le plan sagittale.

de poursuivre la phase d'exécution du mouvement [43, 14, 16].

Le freinage ( $\Delta V_z$ , i.e.  $\Delta V_z = V_{zFC} - V_{zm}$ ) résulte de la différence entre la vitesse verticale du centre de gravité à l'instant du poser du pied pendulaire ( $V_{zFC}$ ) et la vitesse maximale verticale du centre de gravité atteinte juste avant le poser du pied pendulaire ( $V_{zm}$ ).



**Fig. 3** – Tracés biomécaniques type caractérisant le freinage de la chute verticale du CG chez un sujet sain lors de l'IM [16]. V AP : vitesse antéropostérieure de progression du CG ; Vz : vitesse verticale du CG ; CP AP : déplacement antéropostérieur du centre des pressions ; TO : décollage des orteils ; FC : instant du poser du pied pendulaire ; Vzm : pic de vitesse verticale de la chute du CG ; VzFC : vitesse verticale du CG à l'instant du FC ;  $\Delta V_z$  : freinage de la chute verticale du CG.

Deux modes de freinage peuvent être effectués afin de contrôler la vitesse de chute verticale du CG au cours de l'exécution du premier pas :

1. Le sujet peut freiner passivement la chute du CG en posant directement le pied oscillant sans décélération préalable de la vitesse de chute du CG. Par conséquent, le freinage « passif » serait un mode de freinage pathologique et/ou anormal qui soulignerait l'existence d'une perturbation du contrôle de l'équilibre postural [43, 14, 16].

2. Le freinage de la chute du CG peut également être réalisé activement par le biais des muscles antigravitaires de façon anticipée juste avant le poser du pied pendulaire [10] afin de limiter le choc pied/sol [43, 16] tout en conservant au préalable une décélération de la vitesse de chute du CG [9, 43, 14, 16]. Ce mode « actif » est défini comme faisant partie intégrante du pattern de la marche saine et reflète ainsi le bon fonctionnement des mécanismes physiologiques sous-jacents au contrôle de l'équilibre postural [43, 16].

### Marche chez l'enfant et freinage de la chute du centre de gravité

Le freinage actif ne serait pas mis en jeu avant l'âge de 4 ans, puisque avant cette période, l'enfant n'est capable de développer qu'un freinage passif [9]. L'enfant n'aurait soit pas intégré le rôle de contrôle postural propre au membre inférieur d'appui, soit n'aurait pas acquis le contrôle postural nécessaire au maintien de l'équilibre unipodal lors de la phase de simple appui [9, 11]. L'application du freinage actif mise en jeu par le SNC requiert donc par conséquent un processus de maturation et d'apprentissage [12b, 27b]. Dans certains contextes pathologiques (autisme, pied bot varus équien opéré, amputation...), ce processus d'apprentissage est guidé par la rééducation.

### Conclusion

La marche et, plus spécifiquement, son initiation, sont régulées bilatéralement au niveau des aires motrices supplémentaires du cortex cérébral, impliquant un processus global symétrique [46] afin de coordonner l'activité spécifique de chaque membre inférieur [24]. Ce processus est perturbé en présence de contraintes posturo-cinétiques, exemple : déficit articulaire, musculaire, neurologique, sensitif...

D'un point de vue supraspinal, une déficience asymétrique va provoquer une dissymétrie dans les informations sensorielles traitées par les aires motrices supplémentaires. Cela pourrait donc obliger le SNC à envoyer par *feedforward* une commande motrice spécifique pour chaque membre inférieur afin d'éviter au sujet de chuter.

À l'inverse, la réorganisation sensorimotrice, suite à une contrainte bilatérale, pourrait être plus facile à manager par le SNC, notamment par le biais du réflexe spinal croisé. Pour faciliter cette réorganisation, le SNC met en jeu : un câblage symétrique [2],

un traitement symétrique de l'information [15], une base sensorielle symétrique [24b], une coordination motrice symétrique [25] et des circuits régulateurs propres à la double commande motrice [38].

Cela laisse suggérer qu'il y aurait un intérêt moteur fondamental à démarrer le plus précocement possible (i.e. phase « aigüe ») une rééducation bilatérale et adaptée à chaque membre, afin de pérenniser le potentiel correctif existant par le biais de la plasticité cérébrale, chez les patients présentant une atteinte unilatérale d'origine neurologique ou orthopédique par exemple. De nombreuses études ont notamment démontré les bénéfices fonctionnels de la rééducation précoce en post-opératoire que ce soit sur le rachis [37] ou au membre inférieur [35].

L'évaluation clinique et quantifiée (AQM) de la marche est un outil de prévention visant, après analyse de la cinésiologie<sup>1</sup> et des contraintes biomécaniques (directes puis croisées) mises en jeu, le rééquilibrage des capacités fonctionnelles. Ce dernier est d'ailleurs de plus en plus recherché chez les orthoprothésistes. Ceux-ci produisent des prothèses et orthèses de plus en plus dynamiques [20].

La restauration de la mobilité articulaire perdue du côté pathologique permet d'améliorer l'activité EMG et d'équilibrer les contraintes vis-à-vis du membre sain lors de la marche [27].

## Références

- [1] Arsenault, A. B., Winter, D. A., & Marteniuk, R. G. (1986). Bilateralism of EMG profiles in human locomotion. *American Journal of Physical Medicine*, 65(1), 1-16.
- [2] Barral, J., Albaret, J. M., & Hauert, C. A. (2009). Des syncinésies aux mécanismes d'inhibition motrice chez l'enfant. *Thérapie psychomotrice et recherches*, 157, 5-20.
- [3] Belenkii, V. E., Gurfinkel, V. S., & Paltsev, E. I. (1967). On Elements of control of voluntary movements. *Biofizica*, 12, 135-141.
- [4] Béraud, P., & Gahéry, Y. (1995). Relationships between the force of voluntary leg movements and the associated postural adjustments. *Neuroscience Letters*, 194, 177-180.
- [5] Bogey, R. A., Gitter, A. J., & Barnes, L. A. (2010). Determination of ankle muscle power in normal gait using an EMG-to-force processing approach. *Journal of electromyography and kinesiology*, 20, 46-54.
- [6] Bouisset, S., & Do, M. -C. (2008). Posture, dynamic stability, and voluntary movement. *Clinical Neurophysiology*, 38, 345-362.
- [7] Bouisset, S., & Zattara, M. (1983). Anticipatory postural movements related to a voluntary movement. In J. Garcia, M. Guerin, & C. Laverlochere (Eds). *Space physiology* (pp. 137-141). Toulouse : Cepadues.
- [8] Bouisset, S., & Zattara, M. (1987). Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *Journal of Biomechanics*, 20(8), 735-742.
- [9] Brenière, Y., & Bril, B. (1988). Why does the child walk in falling while the adult falls in walking ? *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 307, 617-622.
- [10] Brenière, Y., & Do, M. -C. (1991). Control of gait initiation. *Journal of Motor Behaviour*, 23, 235-240.
- [11] Brenière, Y., Bril, B., & Fontaine, R. (1989). Analysis of the transition from upright stance to steady state locomotion in children with under 200 days of autonomous walking. *Journal of Motor Behaviour*, 21, 20-37.
- [12] Brenière, Y., Do, M. -C., & Sanchez, J. (1981). A biomechanical study of the gait initiation process. *Journal of Biophysics and Nuclear Medicine*, 5, 197-205.
- [12b] Bril, B., Breniere, Y. (1992) Postural requirements and progression velocity in young walkers, *J. Mot. Behav.* 24(1), 105-16.
- [13] Carlsöö, S. (1966). The initiation of walking. *Acta Anatomica*, 65, 1-9.
- [14] Chastan, N., Do, M. -C., Bonneville, F., Tornay, F., Bloch, F., Westby, G. W., Dormont, D., Agid, Y., & Welter, M. L. (2009). Gait and balance disorders in Parkinson's disease : impaired active braking of the fall of centre of gravity. *Movement Disorders*, 24(2), 188-195.
- [15] Cheyne, D., Bakhtazad L., & Gaetz, W. (2006). Spatio-temporal mapping of cortical activity accompanying voluntary movements using an event-related beamforming approach. *Human Brain Mapping*, 27, 213-229.
- [16] Chong, R. K. Y., Chastan, N., Welter, M. L., & Do, M. C. (2009). Age-related changes in the center of mass velocity control during walking. *Neuroscience Letters*, 458(1), 23-27.
- [17] Cook, T., & Cozzens, B. (1976). Human solutions for locomotion : the initiation of gait. In R. M. Herman, S. Grillner, P. S. G. Stein, & D. G. Studart (Eds). *Neural control of locomotion* (pp. 65-76). New York : Plenum.
- [18] Crenna, P., & Frigo, C. (1991). A motor program for the initiation of forward oriented movements in man. *Journal of Physiology*, 437, 635-653.
- [19] Gahéry, Y., Viton, J. M., & Béraud, P. (1994). Early postural adjustments associated with the transition from two-foot to one-foot support. *European Journal of Physiology*, 427(Suppl 1), R47.
- [20] Hansen, A. H., Miff, S. C., Childress, D. S., Gard, S. A., & Meier, M. R. (2010). Net external energy of the biologic and prosthetic ankle during gait initiation. *Gait & Posture*, 31(1), 13-17.
- [21] Herman, R., Cook, T., Cozzens, B., & Freedman, W. (1973). Control of postural reactions in man : the initiation of gait. In R.B.

1. Étude du mouvement du point de vue physiologique.

- [22] Stein, K.G. Pearson, R.S. Smith, & J.B. Redford (Eds). Control of posture and locomotion (pp. 363-388). New York : Plenum.
- [23] Honeine, J. L., Schieppati, M., Gagey, O., & Do, M. -C. (2013). The functional role of triceps surae muscle during human locomotion. *PLoS ONE*, 8(1), 1-12.
- [24] Kautz, S. A., & Patten, C. (2005). Interlimb influences on paretic leg function in poststroke hemiparesis. *Journal of Neurophysiology*, 93(5), 2460-2473.
- [24b] Kavounoudias, A., Tremblay, C., Gravel, D., Iancu, A., & Forget, R. (2005). Bilateral changes in somatosensory sensibility after unilateral below knee amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(4), 633-640.
- [25] Kelso, J. A. S., & Schöner, G. (1988). Self-organization of coordinative movement patterns. *Human Movement Science*, 7, 27-46.
- [26] Kepple, T. M., Siegel, K. L., & Stanhope, S. J. (1997). Relative contributions of the lower extremity joint moments to forward progression and support during stance. *Gait & Posture*, 6, 1-8.
- [27] Lam, W. K., Leong, J. C. Y., Li, Y. H., Hu, Y., & Lu, W. W. (2005). Biomechanical and electromyographic evaluation of ankle foot orthosis and dynamic ankle foot orthosis in spastic cerebral palsy. *Gait & Posture*, 22, 189-197.
- [27b] Ledebt, A., Bril, B., Brenière Y. (1998). The build-up of anticipatory behaviour. An analysis of the development of gait initiation in children. *Exp Brain Res.*, 120(1), 9-17.
- [28] Lepers, R., & Brenière, Y. (1995). The role of anticipatory postural adjustments and gravity in gait initiation. *Experimental Brain Research*, 107(1), 118-124.
- [29] Mann, R. A., Hagy, J. L., White, V., & Lidell, D. (1979). The initiation of gait. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 61, 232-239.
- [30] Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium : interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38, 35-56.
- [31] McGibbon, C. A., & Krebs, D. E. (2001). Age-related changes in lower trunk coordination and energy transfer during gait. *Journal of Neurophysiology*, 85(5), 1923-1931.
- [32] McGowan, C. P., Kram, R., & Neptune, R. R. (2009). Modulation of leg muscle function in response to altered demand for body support and forward propulsion during walking. *Journal of Biomechanics*, 42, 850-856.
- [33] Michel, V. (2003). Programmation de la génération des forces de propulsion au cours de l'initiation de la marche : ajustements posturaux anticipateurs, stratégies motrices globales et locales mises en jeu chez le sujet amputé d'un membre inférieur (Thèse de doctorat) Université Paris Sud.
- [34] Michel, V., & Do, M. -C. (2002). Are stance ankle plantar flexor muscles necessary to generate propulsive force during human gait initiation ? *Neuroscience Letters*, 325, 139-143.
- [35] Munin, M. C., Rudy, T. E., Glynn, N. W., Crossett, L. S., & Rubash, H. E. (1998). Early inpatient rehabilitation after elective hip and knee Arthroplasty. *The Journal of American Medical Association*, 279(11), 847-852.
- [36] Neptune, R. R., Kautz, S. A., & Zajac, F. E. (2001). Contributions of the individual ankle plantar flexors to support, forward progression and swing initiation during walking. *Journal of biomechanics*, 34, 1387-1398.
- [37] Nielsen, P. R., Jorgensen, L. D., Dahl, B., Pedersen, T., & Tonnesen, H. (2010). Prehabilitation and early rehabilitation after spinal surgery : randomized clinical trial. *Clinical Rehabilitation*, 24(2), 137-148.
- [38] Paillard, J. (1946). Quelques données psychophysiologiques relatives au déclenchement de la commande motrice. *L'année psychologique*, 47, 28-47.
- [39] Patchay, S., Gahéry, Y., & Serratrice, G. (2002). Early postural adjustments associated with gait initiation and age-related walking difficulties. *Movement Disorders*, 17, 317-326.
- [40] Riley, P. O., Della Croce, U., & Kerrigan, D. C. (2001). Propulsive adaptation to changing gait speed. *Journal of Biomechanics*, 34(2), 197-202.
- [41] Sutherland, D. H., Cooper, L., & Daniel, D. (1980). The role of the ankle plantar flexors in normal walking. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 62, 354-363.
- [42] Thorstensson, A., Nilsson, J., Carlson, H., & Zomlefer, M.R. (1984). Trunk movement in human locomotion. *Acta Physiologica Scandinavica*, 121, 9-22.
- [43] Welter, M. L., Do, M. -C., Chastan, N., Tornay, F., Bloch, F., Tezenas du Montcel, S., & Agid, Y. (2007). Control of vertical components of gait during initiation of walking in normal adults and patients with progressive supranuclear palsy. *Gait & Posture*, 26, 393-399.
- [44] Whittlesey, S. N., van Emmerik, R. E., & Hamill, J. (2000). The swing phase of human walking is not a passive movement. *Motor Control*, 4(3), 273-292.
- [45] Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3, 193-214.
- [46] Yazawa, S., Shibasaki, H., Ikeda, A., Terada, K., Nagamine, T., & Honda, M. (1997). Cortical mechanism underlying externally cued gait initiation studied by contingent negative variation. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 105, 390-399.

■

# Démarche sur la pointe des pieds chez l'enfant :

Etude prospective de 282 enfants marchant en équin dont 41 atteints de troubles du spectre autistique

Michel Robert<sup>1</sup>

## Introduction

**I**NTÉRESSÉS par le concept de « faux équin psychologique » décrit par Saint-Supéry en 2001 [1], notre objectif a été, pour ce travail, de recenser les étiologies de la démarche en équin chez l'enfant : états dits physiologiques, brièveté congénitale du tendon d'Achille, infirmité motrice d'origine cérébrale, myopathies, causes plus rares (malformations, maladies neurologiques diverses). Ce concept est plus particulièrement illustré par :

- Les instabilités psychomotrices : *« ces troubles du comportement peuvent induire ce trouble de la marche et entraîner un raccourcissement secondaire du tendon d'Achille qui « auto-entretient » le trouble et peut justifier un traitement orthopédique.*

*L'« ambiance » familiale et le comportement de l'enfant peuvent inciter à demander l'aide d'un pédopsychiatre. Cependant cette étiologie doit être considérée comme un diagnostic d'élimination »,*

- Le faux équin psychologique qui pourrait être un symptôme de « dysharmonie » dans l'acquisition de la « Représentation de Soi »,

- L'autisme, dans la description psychanalytique par Bettelheim en 1974 [2] est : *« une variété de psychose dans laquelle s'installent des procédés « autistiques »... L'enfant avec autisme s'enveloppe dans une coque, capsule rigide pour se protéger de son angoisse intérieure, et extérieure... Bettelheim : la « forteresse vide » des autistes... Au lieu d'avoir un objet transitionnel, l'autiste se protège, se câline avec des objets durs : épée, camions en fer... Le dou-dou « représente » la mère quand elle est absente. L'objet autistique dur de l'enfant avec autisme est fait pour boucher le « trou » dans le corps de l'enfant, que fait l'absence de la mère. L'autiste ne peut pas « penser » la mère absente, construire une « représentation » d'une bonne mère contenante à l'intérieur de lui. Les autistes de Kanner laissés sans soin sont grabataires... Ils vont se mettre à marcher sur la pointe des pieds pour se tenir à eux-mêmes, à leurs contractures... Pour faire tomber cette angoisse, on*

*peut pratiquer un Pack (enveloppement glacé) qui leur donne une conscience de leur peau quand ils se réchauffent... Il ose poser le talon par terre, car le sol lui semble plat, à l'image de son apaisement intérieur car il a pris conscience d'un axe horizontal, et d'un axe vertical à l'intérieur de lui, entourés d'un sac de peau psychique... Tout ceci montre bien que cette démarche chez eux n'est pas neurologique. » [2].*

**Quelques considérations, très psychanalytiques, avaient suivi sur l'autisme, en contradiction formelle avec les données de la communauté internationale, hors la France, ce qui a conduit d'ailleurs à un retard de 40 ans dans la prise en charge de ces enfants ou de ces adultes dans notre pays et notamment dans le dépistage précoce [3, 4].**

Nous nous proposons pour cette étude, trois objectifs :

- Savoir si la marche en équin pouvait être un signe d'orientation pour le dépistage des troubles du spectre autistique (TSA) ou troubles envahissants du développement (TED) pour des médecins non spécialistes des pathologies du continuum autistique.
- Comparer les littératures française et étrangère.
- Etudier dans la littérature si la cause de cette marche en équin est connue.

## Méthode

Nous avons réalisé une étude prospective clinique de 282 enfants ayant consulté l'auteur (chirurgien orthopédiste pédiatre, du 1<sup>er</sup> janvier 2007 au 31 décembre 2013) pour la première fois pour marche en équin bilatérale, sur un total de 31 000 consultations (soit 0,9%).

1. L'interrogatoire portait sur :

- Les antécédents familiaux, et l'existence d'autres cas dans la famille (40 cas), le déroulement de la grossesse et de l'accouchement,

1. Service d'Orthopédie pédiatrique, CHR ORLEANS

le terme et le poids de naissance, le score APGAR, l'existence d'une souffrance pré-, péri- (souffrance fœtale aiguë) ou post-natale,

- Les étapes du développement psychomoteur et affectif, et plus particulièrement l'existence de troubles de la communication, de troubles de la socialisation, d'une altération de l'imagination, d'intérêts restreints et répétitifs, ou des stéréotypies, réalisant la triade autistique, selon la Classification Internationale des Maladies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le *Diagnostic and Statistical Manual - Revision 4* (DSM IV-R – [5]).
- Le type et le niveau de scolarisation, l'existence ou non d'un retard d'acquisition du langage, de la lecture,
- L'existence de troubles de la motricité,
- La marche digitigrade (sur la pointe des pieds) : était-elle primaire ou secondaire ? uni- ou bilatérale ? L'enfant était-il capable de marcher de manière plantigrade (marche à plat) à la demande ? Quelle était sa position à l'arrêt ? Ce trouble existait-il uniquement à la marche ou également à la course ?
- L'existence de certains signes associés : fièvre, amaigrissement, douleurs, troubles de l'équilibre, de l'humeur, de la vue ou de l'audition.

## 2. L'examen clinique étudiait :

- La marche de l'enfant chaussé puis pieds nus, de face, de profil et de dos ; on demandait ensuite à l'enfant de marcher sur les talons. On vérifiait l'amplitude articulaire et la position des genoux lors du passage du pas, ainsi que les mouvements des membres supérieurs. L'équin était coté de 0 (pied à plat) à 5 (marche digitigrade).
- En statique, les amplitudes articulaires des chevilles étaient mesurées.
- L'examen neurologique comportait de façon systématique lors de la consultation : l'étude de tous les réflexes ostéotendineux, des réflexes cutanés abdominaux, la recherche d'un syndrome pyramidal, d'une spasticité, d'une anomalie de la ligne médiane, d'une fatigabilité musculaire
- Chez les moins de 6 ans, la *Check List for Autism in Toddlers* (CHAT) [6] a été réalisée par l'examinateur.

Le cas échéant, l'avis du neurologue pédiatre était demandé ainsi que des examens complémentaires : électromyogramme, enzymes musculaires, scanner, IRM, radiographies. En cas de suspicion de TSA, une consultation au centre de ressource autisme à Tours était sollicitée.

## Résultats

Notre série comporte 282 enfants (196 garçons et 86 filles). La répartition des âges au jour de la consultation présente 2 pics de fréquence : 2-3 ans et 8-10 ans. Les marcheurs sur la pointe des pieds ou « toe walkers » sont observés à tout âge, les apophysites de croissance entre 7 et 11 ans. Les étiologies retrouvées étaient :

- Les 138 marcheurs en équin idiopathique (49%). Nous y avons inclus 31 bébés, de 1 à 2 ans. Ils ont été revus à l'âge de 5 ans et avaient acquis une marche plantigrade. Nous en avons conclu qu'il s'agissait d'un mode de démarche physiologique. Les antécédents familiaux sont retrouvés 35 fois (12%). De même nous avons observé 15 cas de troubles des apprentissages : 6 retards de langage et 9 retards de lecture (dont un sans retard de langage).
- Par rapport à notre étude précédente de 2011 [30], où nous avons seulement 6 cas d'Achille courts idiopathiques, toujours non opérés à ce jour, nous avons observés 11 cas supplémentaires, dont 8 ont été opérés avec succès par aponévrotomie des jumeaux et du soléaire : au total 17 cas (6%).
- 55 apophysites de croissance de la grosse tubérosité calcaneenne (maladie de Sever) (19,5%)
- 21 paralysies cérébrales (PC) : 16 diplégies spastiques et 1 triplégie, dans des formes très modérées, jusqu'alors passées inaperçues ; 2 cas présentait aussi un TSA associé (7%)
- 12 cas divers (4%) : 1 séquelle de pieds bot varus équin opéré, 5 arthropathies juvéniles idiopathiques, 2 myopathies de Duchenne de Boulogne, 1 trisomie 21, 1 syndrome de Willi-Prader (non autiste malgré la fréquence de l'association), 1 diastématomyélie, 1 neuropathie non étiquetée.
- Mais surtout, nous avons mis en évidence 41 troubles du spectre autistique (14,5%) : dont 13 étaient déjà connus dans un centre de ressource autisme (8 autistes type Kanner dont

un avec IMC associée, 2 syndromes d'Asperger, 3 TSA non spécifiés); les 28 autres cas suspects ont été orientés vers un centre de ressource et diagnostiqués (11 autistes type Kanner, 9 Asperger, 8 TSA non spécifiés). Aucun ne présentait de spasticité, sauf l'enfant avec infirmité motrice cérébrale associée.

## Discussion

Nous ne discuterons pas les étiologies connues de la marche en équin (paralysie cérébrale, myopathie ou maladie de Sever). De nombreuses causes anecdotiques sont en outre rapportées dans la littérature : dystonie focale transitoire de l'enfance, anomalies du tonus musculaire, muscle soléaire anormal, cause virale, pied bot varus équin, dystonie musculaire, tumeur médullaire, retard de maturation des tractus corticospinaux, polyneuropathies héréditaires, habitude, trop longue utilisation du trotteur, arthropathie juvénile idiopathique. À noter cependant que quelques unes de ces causes peuvent faire penser a posteriori à un trouble du spectre de l'autisme non diagnostiqué : trouble développemental de coordination, dysfonctionnement vestibulaire, syndrome de l'enfant maladroit, retard mental.

En revanche, la littérature concernant le syndrome de la démarche sur la pointe des pieds et les troubles du spectre autistique est peu abondante dans les publications d'orthopédie pédiatrique et ne concernent souvent que peu de cas.

En France, on ne retrouve que deux articles, celui de Cahuzac [7] et celui de Taussig [8], mais qui n'évoquaient pas les troubles du spectre autistique alors non décrits.

Le *toe walking (TW) syndrome* ou syndrome de la démarche sur la pointe des pieds a été décrit par Hall et Salter [9] en 1967 à propos de 20 cas dont 13 raccourcissements congénitaux du tendon d'Achille. L'examen neurologique a toujours été normal, on retrouve une notion familiale. Il existe une certaine confusion dans la littérature : on parle volontiers de *toe-walkers* habituels, avec ou sans rétraction du tendon d'Achille. Mais les études les plus récentes excluent les enfants ayant un tendon d'Achille court de la démarche en équin idiopathique.

Même s'il est fréquent (49% de nos cas), le *toe walking syndrome* est un diagnostic d'exclusion. Les études électromyographiques dynamiques au cours de la marche permettent de différencier enfants normaux, PC et TW [10, 11]. Il faut probablement indi-

vidualiser les Achilles courts. Certains cas dans des études anciennes sont probablement des TSA, mais actuellement la distinction est clairement faite

Accardo et Whitman [12, 28], ont étudié la relation entre la démarche sur la pointe des pieds et le développement du langage chez 799 enfants. Ils ont trouvé que la fréquence de cette démarche s'accroît en même temps que la sévérité des troubles du langage.

Shulman et Sala [13], sur 13 enfants d'âge moyen de 3 ans et 9 mois, notent 7 fois un retard très net de langage isolé, et 3 fois possible mais aussi des troubles de performance dans d'autres secteurs visuels (40 %), auditifs ou bien des maladrotes gestuelles associées ou isolées, mais aucun enfant n'a de retard sur tous les plans. Ils suggèrent d'ailleurs que la démarche sur la pointe des pieds est un marqueur des problèmes développementaux et recommandent que tout enfant avec *toe walking* ait un bilan développemental.

Les traitements proposés sont souvent énergiques : ténotomies d'Achille en cas de rétraction (20 cas chez Hall [9]). Kinésithérapie, plâtres de correction, parfois en position forcée [14] ou abstention thérapeutique sont les traitements le plus souvent mentionnés, mais sans série importante. Eastwood [16] ne retrouve pas de différence à long terme entre ceux qui ont été plâtrés et ceux qui n'ont eu aucun traitement. Il n'existe pratiquement aucun travail donnant des résultats avec recul suffisant permettant de connaître l'évolution spontanée en l'absence de tout traitement.

Au total, le diagnostic de marche en équin idiopathique, habituelle ou essentielle selon les différentes terminologies utilisées, ne doit être retenu qu'après exclusion des autres diagnostics étiologiques : les antécédents personnels et familiaux, l'examen clinique et neurologique complété à la demande par une étude électromyographique couplée avec un enregistrement de la marche doit y parvenir. Il semble qu'il faille distinguer deux groupes d'enfants : ceux qui présentent une flexion dorsale supérieure à 10° genou étendu et qui sont susceptibles de se corriger spontanément jusqu'à un âge tardif et ceux qui ont une limitation de la flexion dorsale à moins de 10° genou étendu, témoignant d'une brièveté du triceps. Il semblerait logique d'attendre dans le premier groupe, sous surveillance annuelle, la correction spontanée sans traiter et de ne traiter que les enfants du second groupe : l'allongement du triceps

avec les précautions techniques habituelles a fait la preuve de son efficacité, mais il existe certainement une place pour les méthodes non chirurgicales. Les troubles du spectre autistique sont caractérisés par une triade symptomatique : déficit dans les interactions sociales, du langage et de la communication, souvent accompagné de comportements répétitifs et d'intérêts restreints.

Classiquement il n'y a pas de trouble sévère de la motricité, mais des altérations dans l'acquisition des étapes du développement moteur [16], une maladresse, une incoordination motrice, des troubles dans les manœuvres de flexion, des défauts de la motricité fine et globale [17], une altération du contrôle postural, des mouvements anormaux (*flapping*, stéréotypies et automutilations) [18].

Les troubles moteurs observés individuellement chez certains enfants sont qualifiés de symptômes associés, mais l'activité locomotrice participe à l'intégration de l'enfant dans son environnement et joue un rôle dans la communication au sens large, rejoignant ainsi un des éléments de la triade symptomatique. Il y a une indication claire de l'atteinte du système nerveux central, surtout depuis la découverte de nombreux gènes impliqués dans l'autisme : trouble de l'anticipation motrice, anomalies posturales et de la marche, bradykinésie<sup>1</sup> ou hyperkinésie, anomalies du tonus musculaire. Des causes d'altération de la fonction motrice ont été retrouvées : troubles de la neurotransmission, particulièrement dans les systèmes sérotoninergiques, dopaminergiques et GABAergiques et anomalies dans des régions cérébrales connues pour participer à la fonction motrice, y compris le cervelet et la matière blanche sous corticale.

Trois études sont spécifiquement consacrées à la démarche sur la pointe des pieds chez l'enfant avec autisme. Colbert et Koegler [19] et Weber [20] décrivent des marches en équin chez des enfants avec autisme ou TSA : pour les premiers, 10 sur 52 présentent des difficultés de mobilité dans l'espace dues à un dysfonctionnement primitif ou secondaire du tonus vestibulaire. Le second attribue ce trouble à un autisme précoce (36 sur 66 des enfants examinés) qui résulterait de la fixation d'une phase normale du développement aussi bien chez les enfants avec autisme que chez les enfants dont le développement moteur est perturbé d'une manière ou d'une autre : 33 ont d'ailleurs débuté la marche autonome à 18 mois. Barrow, Jaworski et Accardo [27] retrouvent

20% de marche sur la pointe des pieds chez 324 autistes, mais 10% chez 30 personnes Asperger. La démarche sur la pointe des pieds a été rapportée dans d'autres études chez les TED.

L'étude de la locomotion semble une approche privilégiée de la pathologie autistique, notamment parce que les descriptions de posture et de marche décrites semblent s'opposer les unes aux autres. Historiquement la fonction motrice dans l'autisme a donc été étudiée dans le contexte de la marche.

Vilensky [21], en 1981 mène une étude sur 21 enfants avec autisme, 15 normaux et 5 enfants avec troubles du comportement, de 3 à 12 ans. Il évoque une marche pseudo-parkinsonnienne. Il émet l'hypothèse d'une dysfonction striatale.

La seule étude française de la marche chez l'enfant avec autisme, a été publiée en 2005 par Vernazza [22], qui fait une analyse cinématique de la marche chez 9 autistes : les principaux composants affectés chez l'enfant avec autisme durant la marche concernent les fonctions exécutives : le but de l'action, l'orientation vers ce but, la définition de la trajectoire due probablement à un dysfonctionnement de la planification du mouvement et évoquent une dysfonction du système dopaminergique sur les centres moteurs spinaux et sur les ganglions de la base. Cette hypothèse est d'ailleurs en accord avec le niveau bas de la dopamine urinaire observée chez l'enfant avec autisme, avec les anomalies de la fonction dopaminergique avec déficit métabolique dans le cortex frontal et cérébelleux et avec la relation entre anomalies de la marche et le dysfonctionnement des ganglions de la base.

Il s'agit donc bien d'une atteinte des fonctions exécutives, dont on sait qu'elles sont déficitaires chez les personnes atteintes d'autisme, au même titre que le déficit de cohérence centrale, le déficit dans le traitement de l'information sociale émotionnelle, le déficit de la « Théorie de l'esprit » et le déficit d'empathie et le goût pour la systématisation.

En 2006, Rinehart [23] compare 11 sujets avec autisme et 11 sujets normaux. Il conclut à des troubles cérébelleux et des ganglions de la base et du frontostriatum. Il retrouve une ressemblance avec la démarche parkinsonnienne.

En 2011, l'auteur [30] publie une étude prospective avec 130 marcheurs sur la pointe des pieds, dont 19 sujets avec TSA.

Au total, on peut résumer les causes possibles des

1. Motricité lente

troubles de la démarche chez la personne avec autisme comme étant d'origine neurologique avec trois hypothèses principales : l'atteinte des ganglions de la base [21] : modèle parkinsonien, lié à un développement immature des substrats neurologiques (démarche digitigrade) ; l'hypothèse cérébelleuse [24] : maladresse, marche instable, irrégularité du pas ; l'hypothèse corticale [22] : origine préfrontale et pariétale.

Le traitement de la démarche en équin chez les personnes atteintes de troubles du spectre autistique n'est malheureusement jamais précisé, de même que l'évolution spontanée à l'âge adulte. Sans doute cette démarche n'est elle pas excessivement gênante et ne constitue-t-elle pas le souci principal de ces personnes.

Pour les marcheurs en équin idiopathiques, il y a eu de nombreuses tentatives de traitement. Mais en 2004, Hirsch [25] étudie à long terme (avec un recul de 7 à 21 ans) les résultats après traitement conservateur (kinésithérapie, plâtres, orthèses) chez 14 enfants. De façon immédiate, les traitements ont été inefficaces sauf dans un cas. À la date de révision, trois seulement conservaient leur démarche en équin, deux avaient une petite tendance à la marche digitigrade. Il n'y avait aucun changement dans les valeurs de la dorsiflexion.

En cas de démarche digitigrade, il serait peut-être légitime de raisonner en termes de pathologie neurologique, comme dans l'infirmité motrice cérébrale et de proposer, avec beaucoup de prudence : rééducation, psychomotricité, ergothérapie, botte d'étirement continu [26]. Cependant la toxine botulique, qui agit sur la spasticité, n'a pas d'indication chez les personnes TSA, sauf si elles présentent une infirmité motrice cérébrale associée avec spasticité [29].

## Conclusion

La démarche en équin est relativement fréquente chez l'enfant. Hormis la marche en équin occasionnelle survenant chez le petit enfant où elle est considérée comme physiologique, elle constitue un signe d'appel pour plusieurs pathologies. Il faut savoir diagnostiquer les causes qui vont mettre en jeu le pronostic fonctionnel et qui peuvent nécessiter une prise en charge : myopathies de Duchenne, maladies neuromusculaires, paralysie cérébrale parfois fruste. Lorsqu'elle est douloureuse et en l'absence de tout autre symptôme, il est légitime d'évoquer une apophysite de croissance, banale, mais qui peut être associée à tout autre cause. Lorsque l'examen clinique

paraît normal, il peut s'agir d'un syndrome de la démarche sur la pointe des pieds, d'origine inconnue pour l'instant, qui tend à disparaître avec le temps. Mais il ne faut pas omettre un trouble du spectre de l'autisme. Le médecin généraliste ou le chirurgien orthopédiste pédiatre pourra orienter alors l'enfant vers un centre spécialisé où le pédopsychiatre sera à même de faire le diagnostic. Il est très curieux de constater l'avancée de la connaissance en matière de troubles envahissants du développement dans la littérature orthopédique pédiatrique étrangère : depuis des décennies, les auteurs, pédiatres ou orthopédistes font la différence entre les démarches sur la pointe des pieds idiopathiques et les autres. Les troubles envahissants du développement sont clairement désignés comme critère d'exclusion. Une seule publication française en revanche fait référence à l'autisme, mais sans en rapporter de cas.

## Références

- [1] Saint-Supéry, B., Le faux équin psychologique, Chirurgie et Orthopédie du pied de l'enfant, Monographie du Groupe d'étude en Orthopédie pédiatrique, Sauramps Médical, 2001, 159-164.
- [2] Bettelheim B. — « La Forteresse Vide ». Ed. Gallimard 1974.
- [3] Comité Consultatif National d'Éthique pour les Sciences de la Vie et de la Santé, Avis n°102 « Sur la situation en France des personnes, enfants et adultes, atteintes d'autisme », [http://www.ccne-ethique.fr/docs/CCNE-AVISN102\\_AUTISME.pdf](http://www.ccne-ethique.fr/docs/CCNE-AVISN102_AUTISME.pdf)
- [4] Barthélémy, B., Fuentes, J., Howlin, P., van der Gaag, R., Les personnes atteintes d'autisme, Identification, Compréhension, Intervention <http://www.autismeurope.org/files/files/ajouts/autism-pwasd.pdf>
- [5] American Psychiatric Association, DSM-IV, Critères diagnostiques (Washington DC, 1994). Traduction française par J.D. Guelfi et coll., Masson, Paris, 1996.
- [6] Baron-Cohen, Wheelwright, S., Cox, A., Baird G., Charman, T., Swettenham, J., Drew A. and Doehring P., The early identification of autism : the Checklist for Autism in Toddlers (CHAT), Journal of the Royal Society of Medicine ; 2000 ; 93 :521-525
- [7] Cahuzac, J.P., Carrière, J.P., Pascal, J.F. « Le Toe Walking Syndrome ». Le Pied de l'Enfant. Monographies de Podologie Masson Ed 1985 8 :203-206
- [8] Taussig, G., Delouée, E., La marche en équin idiopathique chez l'enfant, Annales de réadaptation et de médecine physique 2001, 44, 6 :333-339
- [9] Hall, J.E., Salter, R.B., Bhalla, S.K., Congenital short tendo calcaneus. J. Bone Joint Surg. (Br.Vol.), 1967 ; 49 : 695-697.

- [10] Policy, J.F., Torburn, L., Rinsky, L.A., Rose, J., Electromyographic test to differentiate mild diplegic cerebral palsy and idiopathic toe-walking. *J. Pediatr. Orthop.* 2001 Nov-Dec ; 21(6) :784-9.
- [11] Kelly, J.P., Jenkinson, A., Stephens, M., O'Brien, T., The kinematic patterns of toe walkers. *J. Pediatr. Orthop.*, 1997 ; 17 : 478-480
- [12] Accardo, P. et al., Toewalking and language development. *Clin Pediatr* 1992 ; 31 :158-60.
- [13] Shulman, L.H., Sala, D.A., Chu, M.L., McCaul, P.R., Sandler, B.J., Developmental implications of idiopathic toe walking. *J Pediatr.* 1997 Apr ;130(4) :541-6
- [14] Fox, A., Deakin, S., Pettigrew, G., Paton, R., Serial casting in the treatment of idiopathic toe-walkers and review of the literature. *Acta Orthop Belg.* 2006 Dec ; 72(6) :722-30
- [15] Barrett, R.P., Linn, D.M., Treatment of stereotyped toe-walking with overcorrection and physical therapy. *Appl Res Ment Retard.* 1981 ;2(1) :13-21
- [16] Eastwood, D.M., Dennett X., Shield L.K., Dickens D.R., Muscle abnormalities in idiopathic toe-walkers. *J Pediatr Orthop B.* 1997 Jul ; 6(3) :215-8
- [17] Miyahara, M., Tsuji, M., Hori, M., Nakanishi, K., Kagayama, H., Sugiyama, T., Brief report : motor incoordination in children with Asperger syndrome and learning disabilities. *J Autism Dev Disord* 1997 ; 27 :595-603
- [18] Kohen-Raz, R., Volkmar, F.R., Cohen, D.J., Postural control in children with autism, *J. Autism Dev. Disord.* 1992 ; 22 :419-32
- [19] Colbert, E.G., Koegler, R.R., Toe walking in childhood schizophrenia, *J. P.* 1958 ; 53 : 219-220
- [20] Weber, D., « Toe walking » in children with early childhood autism, *Acta Paedopsychiatr.* 1978 ; 43 : 73-83
- [21] Vilensky, J.A., Damasio, A.R., Maurer, R.G., Gait disturbances in patients with autistic behavior : a preliminary study. *Arch Neurol.* 1981 Oct ; 38(10) :646-9
- [22] Vernazza-Martin S. et al., Goal directed locomotion and balance control in autistic children. *J. Autism Dev. Disord.* 2005 Feb ; 35(1) :91-102
- [23] Rinehart, N.J. et al., Gait function in newly diagnosed children with autism : Cerebellar and basal ganglia related motor disorder, *Dev. Med. Child. Neurol.* 2006 Oct ; 48(10) :819-24
- [24] Hallett, M., Lebedowska, M.K., Thomas, S.L., Stanhope, S.J., Denckla, M.B., Rumsey, J., Locomotion of autistic adults. *Arch Neurol.* 1993 Dec ; 50(12) :1304-8
- [25] Hirsch, G., Wagner, B., The natural history of idiopathic toe-walking : a long-term follow-up of fourteen conservatively treated children, *Acta Paediatr.* 2004 Feb ; 93(2) :196-9
- [26] Lespargot, A., Robert, M., Khouri, N., Etirement du triceps sural après réchauffement à 40° chez l'IMC, *Revue de Chirurgie Orthopédique*, 2000, 86, 712-717
- [27] Barrow, W. J., Jaworski, M., Accardo, P. J., Persistent Toe Walking in Autism, *Child. Neurol.* May 2011 vol. 26 n°5 619-621
- [28] Accardo, P. J., Barrow, W. J., Toe Walking in Autism : Further Observations, *J. Child Neurol.* April 2015 vol. 30 n°5 606-609
- [29] Chambers, H. G., Toxins for Toe-Walking : Should They Be Used ? : Commentary on an article by Pahr Engstrom, MD, et al. : « Botulinum Toxin A Does Not Improve the Results of Cast Treatment for Idiopathic Toe-Walking. A Randomized Controlled Trial », *J. Bone Joint Surg. Am.* March 6, 2013 95 : e31
- [30] Robert, M., La démarche en équin chez l'enfant. Etude prospective de 130 enfants marchant en équin dont 19 atteints de troubles du spectre autistique, *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, (2011), 97S, S62-S66.



# Le contrôle postural et la locomotion des adolescents et adultes avec TSA

Anouk Amestoy<sup>1</sup>, C. Gallot<sup>1</sup>, E. Bestaven<sup>1</sup>, E. Guillaud<sup>1</sup>, J. R. Cazalets<sup>1</sup> et M. P. Bouvard<sup>1</sup>

**A**LORS que les personnes avec Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) semblent souffrir de difficultés motrices notables, leur profil moteur, l'évaluation diagnostique de ces difficultés et leur prise en charge restent peu clairs et controversés encore à l'heure actuelle, alors même que les retentissements socio-professionnels et sur l'autonomie s'avèrent être importants [20, 22, 8], et que la sévérité de la baisse des performances motrice semble indéniable dans les études récentes. D'après Miyahara et al. [29], les compétences motrices des personnes avec TSA sont à  $-2,91$  écarts-types de celles de la population typique. La motricité dans les TSA reste néanmoins encore en 2015 un domaine qui a fait l'objet de peu d'études. Seulement 187 études sur ce sujet ont été recensées par la NICE en 2011 [32], la majorité de qualité méthodologique faible [9, 29].

sition de la marche, la marche sur la pointe des pieds, les troubles précoces du tonus et le Trouble de l'Acquisition des Coordination ou TAC [2] qui rassemble une variété d'anomalies motrices allant du retard de développement moteur avec une baisse globale des compétences motrices, aux troubles posturaux, troubles de la locomotion, de la programmation motrice fine et globale, aux troubles de la coordination plus complexes (Figure 1). L'ensemble de ces particularités entravent significativement la course développementale des personnes concernées et donnent naissance à des situations de handicap sévères dans le quotidien et les apprentissages.

## La motricité dite de « bas niveau »

Un des modèles possibles dans l'évaluation des particularités motrices et des atteintes motrices des personnes avec TSA est de situer les atteintes sur un continuum entre motricité de bas niveau et motricité de haut niveau (Figure 2). En bas, la motricité de bas niveau, symbolisée par la station debout et la marche, concerne les mouvements considérés comme les plus réflexes et automatiques. C'est celle qui nécessiterait le moins de ressources cognitives et attentionnelles, basée principalement sur le système sensoriel, le système moteur et l'intégration sensori-motrice. En haut la motricité de haut niveau symbolisée ici par exemple par le pointage et l'interception. Elle concerne les gestes, donc les mouvements volontaires orientés vers un but, et est très cognitivo-requérante, notamment en terme de planification, de programmation et de contrôle de l'exécution. Il n'existe pas de consensus sur le mécanisme des dysfonctionnements dans le TAC [35].

L'EACD (*European Academy for Childhood Disability* [2b]) décrit trois domaines d'atteinte dans le TAC : la motricité fine, la motricité globale, et la graphomotricité. Les troubles de la motricité de bas niveau, sont principalement impliqués dans les troubles de la **coordination motrice globale**.

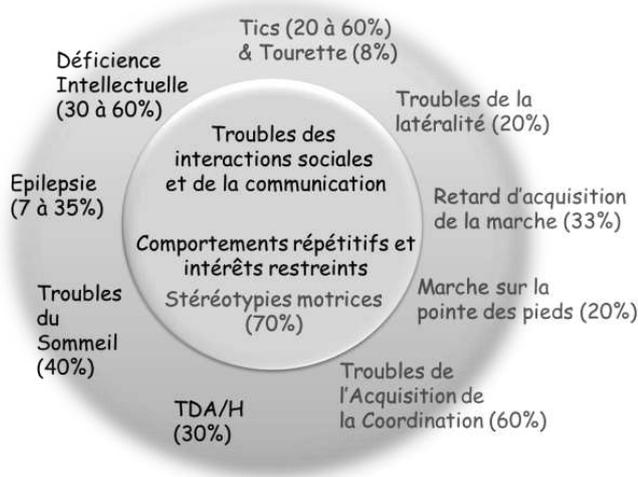


Fig. 1 – Atypies motrices et TSA.

Pourtant la clinique a rapidement mis en avant des atypies motrices qui sont retrouvées et décrites au sein des **symptômes noyaux** de l'autisme avec en particulier les stéréotypies motrices, mais également parmi les **symptômes associés**, comme entre autres, les tics, les troubles de la latéralité, le retard d'acqui-

1. CRA Aquitaine - CH C. Perrens ; INCIA - CNRS UMR 5287, Bordeaux

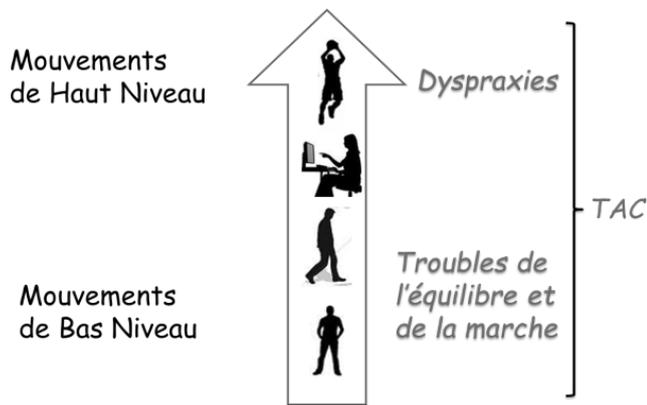


Fig. 2 – Le continuum motricité bas niveau et haut niveau.

Ils concernent les troubles de la posture et du tonus, ainsi que les troubles de la locomotion.

Au cours du développement typique, l'acquisition du **contrôle postural** pendant la station debout consiste à limiter le chancellement, c'est-à-dire les mouvements du centre de gravité (mesurés grâce à l'enregistrement du déplacement du COP, *Center Of Pressure*<sup>1</sup>). Les trois principaux systèmes régulateurs de ce contrôle sont le système somatosensoriel, le système visuel et le système vestibulaire. Au niveau développemental, on retrouve une baisse du chancellement avec l'âge [34]. L'acquisition des stratégies adultes de contrôle de la posture est autour de 14 ans selon la plupart des études [34]. L'acquisition de la stabilité serait par contre plus précoce chez les filles, mais cette différence entre les sexes semblerait disparaître après l'âge de 10 ans [7].

La **locomotion** consiste elle à quitter un état stable (double-appui) pour un état instable (lever du pied) (Figure 3). Plusieurs types de mouvements entrent en jeu : le contrôle de l'équilibre (proprioception, vestibule et vision) et la synchronisation rythmique de l'ensemble des mouvements. Ici encore plusieurs paramètres sont intégrés dans l'étude de la marche : l'exécution du mouvement (étudiée avec les paramètres cinématiques de la marche) mais aussi la planification du mouvement dirigé vers un but (étude de la trajectoire). Pour la marche, comme pour la mastication, certains auteurs parlent de « mouvement automatique », dans le sens où la demande attentionnelle et cognitive est faible pour les sujets sains. Les mouvements seraient stéréotypés, innés et caractéristiques de l'espèce. La demande cognitive pour effectuer une tâche de marche simple augmente avec l'âge, et dans le cas de pathologies de la motricité comme par exemple le Trouble de l'Acquisition

de la Coordination [43].

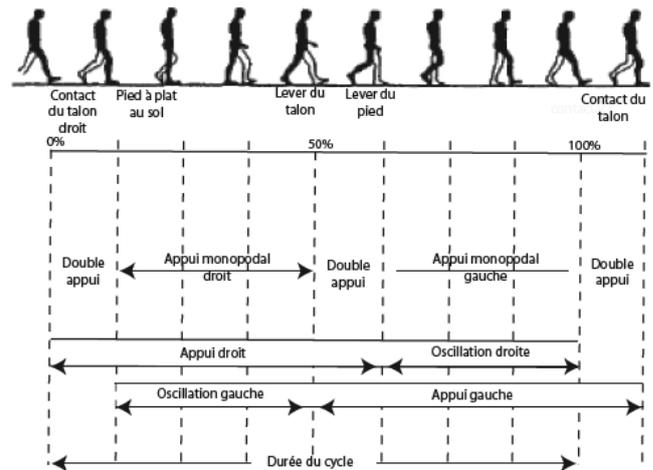


Fig. 3 – Cycle de marche chez l'homme [4].

L'étude de la littérature renseigne sur des anomalies dans les deux champs de la motricité de bas niveau chez les personnes avec TSA. D'après la méta-analyse de 83 études réalisée par Fournier et al. en 2010 [9], les compétences motrices des personnes avec TSA sont à -1,20 écarts-types de celles des neurotypiques, pour la posture, la marche, la coordination et le mouvement des bras.

Du point de vue de la **posture**, de manière générale, les personnes avec TSA semblent avoir un manque d'équilibre par rapport aux sujets au développement typique [21, 27, 28, 5]. Elles ont également un profil différent des neuro-typiques lorsqu'une information sensorielle est supprimée ou modifiée [14, 10, 28, 27, 21]. Au niveau clinique, pour le tonus, d'après l'étude de Ming et al. [26], 51% des enfants avec TSA présentent une hypotonie légère à modérée, sur l'ensemble du corps. Aucun d'entre eux ne présente une hypotonie sévère ni une baisse de la force musculaire.

La **locomotion** est également atypique chez les personnes avec TSA. La plupart des études d'analyse cinématique de la marche retrouvent des paramètres altérés pour la marche simple, [6, 30, 3, 23, 41, 24, 40, 33], une augmentation de la base de support et de la variabilité de la base de support [30], de la variabilité de la longueur du pas [23, 24, 41], des oscillations du haut du corps et de l'angle de trajectoire par rapport à l'objectif [40], de la durée du double appui [41], une baisse de la longueur du pas [40], de la flexion plantaire [3] ou augmentation de celle-ci associée à une augmentation de la flexion de

1. CP dans l'article précédent

la hanche [41], baisse des mouvements du haut du corps [41]. Nous n'aborderons pas ici les anomalies motrices précoces décrites chez les nourrissons et les jeunes enfants présentant un TSA.

### Étude des performances motrices dans les TSA

Aujourd'hui, la description du comportement moteur des personnes avec TSA reste donc floue et controversée et la littérature actuelle ne permet pas de situer l'atteinte motrice sur le continuum entre motricité de bas niveau et motricité de haut niveau. Dans un objectif exploratoire et par l'intermédiaire de plusieurs tâches motrices au sein d'une plateforme d'analyse du mouvement (CNRS, UMR 5287, INCIA, Bordeaux), nous avons interrogé, chez les adolescents et adultes avec TSA, les hypothèses retrouvées dans la littérature de diminution des performances motrices en étudiant leurs performances dans des tâches motrices de plus bas niveau (station debout et marche) et de plus haut niveau (pointage et interception). Les objectifs étaient de documenter dans ce trouble le niveau de motricité atteint et mais aussi l'impact du coût cognitif de cette régulation, notamment au travers de tâches duelles calcul-marche (qui sont un moyen d'évaluer le surcoût cognitif des mouvements basiques).

### Méthode

Pour ces résultats préliminaires, 28 participants âgés de 12 à 30 ans, 14 avec TSA sans déficience intellectuelle ( $QI > 70$ , groupe TSA) et 14 sujets contrôles de développement typique (groupe C), appariés en âge et en sexe ont été évalués. Les critères d'exclusion ont permis d'écarter les comorbidités neurologiques ou psychiatriques connues, les troubles de la vision non corrigés et les retards de langage.

**La procédure expérimentale** s'est déroulée en deux temps (Figure 4) : l'évaluation des performances motrices en tâche « simple » puis l'évaluation des performances motrices en tâche « duelle ». Pour les quatre tâches motrices simples, sont réalisées, du plus bas niveau au plus haut niveau : le contrôle postural, la marche, le pointage et l'interception. Nous développerons ici les résultats des deux premières tâches simples et de la tâche duelle de locomotion.

Pendant la tâche de **contrôle postural**, les participants doivent rester sans bouger en position debout naturelle, sur une plateforme de force, ce qui permet de mesurer les paramètres de posturométrie.

L'aire à 95% du déplacement du centre de pression (COP) a été définie comme critère de jugement principal. La longueur du COP, et la variabilité du COP selon les axes antéro-postérieur et médiolateral sont des critères secondaires.

Pour la **marche simple**, la cinématique de la locomotion est enregistrée à l'aide de huit caméras à infrarouge permettant de mesurer la position de marqueurs passifs dans l'espace. Les paramètres spatio-temporels de la marche sont calculés par la suite. La cadence de la marche sera ici le critère de jugement principal. La durée du cycle (Figure 3), longueur du cycle, durée du double appui, vitesse de la marche, largeur du pas, et coefficient de variation de chacun des paramètres cités précédemment permettront également d'affiner la description de la marche dans un second temps au terme de l'évaluation.

Enfin, pour la **tâche duelle**, les participants procèdent tout en marchant à des tâches de parole avec, de la plus automatique à la plus cognitivo-requérante : une tâche de récitation de l'alphabet, une tâche de récit libre, et une tâche arithmétique (soustractions de 3 en 3).



**Fig. 4** – Procédure expérimentale : contrôle postural, marche simple, et marche en tâche duelle.

### Résultats

Nos résultats préliminaires concernant les tâches de **contrôle postural** ne retrouvent pas de différence significative de performance d'équilibre pour la tâche de station debout les **yeux ouverts** entre le groupe TSA et le groupe C (Tableau 1), pour le critère de jugement principal (aire du COP95%) comme pour les autres variables analysées telles que la distance parcourue par le COP et la variabilité du COP selon l'axe antéro-postérieur et médio-latéral ( $p > 0,05$ ). Néanmoins, on note une tendance à la significativité, qu'il nous semble nécessaire de réévaluer sur un échantillon plus grand.

	C	TSA	p
Aire du COP 95%	158,26 (42,13)	525,76 (140,20)	0,056
Ecart-type latéral	4,99 (0,52)	9,84 (2,43)	0,062

**Tab. 1** : Posturométrie avec les yeux ouverts. Aire du COP95% en mm<sup>2</sup> et écart type latéral en mm. Moyennes (Erreurs Standard ES) et valeurs de p pour la comparaison entre les groupes C et TSA, pendant la tâche de « station debout avec les yeux ouverts ».

Dans la condition **yeux fermés** (Tableau 2), la surface du COP95% est significativement plus grande chez les personnes avec syndrome d'Asperger (p=0,014). Cela est également vrai pour les autres variables mesurées en posturométrie, telle que la distance parcourue par le COP et la variabilité du COP selon l'axe antéro-postérieur et médio-latéral (p<0,05).

	C	TSA	p
Aire du COP 95%	165,93 (44,25)	1008,64 (268,8)	0,014 <sup>a</sup>
Ecart-type latéral	5,27 (0,29)	11,61 (1,89)	0,002 <sup>b</sup>

**Table. 2** : Posturométrie avec les yeux fermés. Aire du COP95% en mm<sup>2</sup> et écart type latéral en mm. Moyennes (ES) et Valeur de p pour la comparaison entre les groupes C et TSA, pendant la tâche de « station debout avec les yeux fermés ». <sup>a</sup>p<0,05, <sup>b</sup>p<0,001.

Au sein du groupe avec TSA, la comparaison des résultats (aire du COP95%) yeux ouverts versus yeux fermés (test t de student apparié), retrouve une différence significative (p=0,0043). Cette baisse significative de l'équilibre entre « yeux ouverts » et « yeux fermés » n'est pas retrouvée dans la population contrôle (p=0,91 pour le COP par exemple) (figure 5 gauche).

Concernant les tâches de **marche**, à ce stade de nos analyses, nous ne retrouvons pas de différence significative pour les paramètres de marche simple dans les deux groupes, pour les variables analysées (nombre de pas, cadence, durée et longueur du cycle, durée du double appui, vitesse de marche, largeur du pas), notamment du fait d'une extrêmement grande variabilité des résultats dans notre groupe de personnes avec TSA. Au sein du groupe contrôle, aucune différence de cadence entre les différentes tâches duelles n'a été retrouvée, alors que pour le groupe de personnes avec TSA, l'impact du calcul sur la cadence de marche est significatif (p=0,039) en **tâche duelle** (voir Tableau 3 et Figure 5 droite).

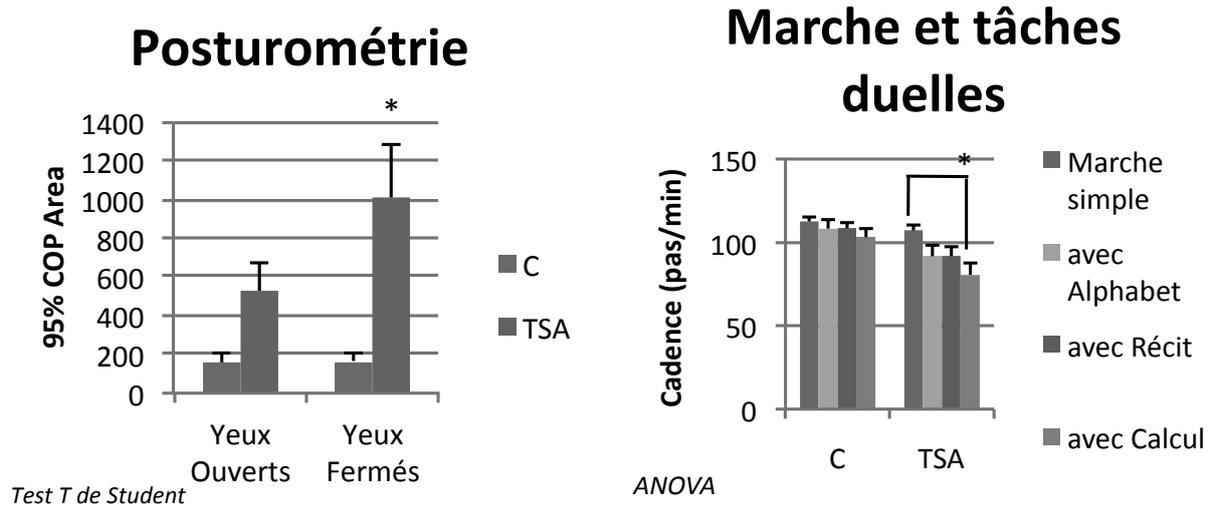
On retrouve également une baisse de la longueur du pas, un élargissement de la base de support. Cet impact de la double tâche n'est pas significatif pour la parole automatique (alphabet) et l'évocation (récit). De même, pour la tâche duelle calcul-marche, on retrouve une baisse significative (p = 0,01\*) de la cadence de marche pour le groupe TSA (cadence = 103,30 pas/min, erreur standard = 5,11) par rapport au groupe C (cadence = 80,65 pas/min ; erreur standard = 7,09).

	Marche simple	Alphabet	Récit	Calcul
C	112,7 (2,66)	108,4 (3,25)	108,6 (3,38)	103,50 (5,11)
TSA	107,3 (5,39)	97,08 (6,57)	91,82 (5,70)	80,65 (7,09) <sup>a</sup>

**Table. 3** : Comparaisons intra-groupes de la cadence en pas/min lors de la tâche de marche vs les tâches duelles. Moyennes (erreurs standards) et valeur de p pour la comparaison entre la marche et les tâches duelles pour chaque groupe. <sup>a</sup>p < 0,05

Les résultats à ce jour n'atteignent donc pas la significativité pour la posturométrie yeux ouverts mais on retrouve une différence significative entre les indices étudiés entre nos deux groupes, les yeux fermés. La surface du COP tend également à être plus importante en station debout pour les participants avec TSA (p=0,056), indiquant une plus grande instabilité que chez les sujets contrôles. Le même profil est observé pour les autres paramètres de chancellement. La cadence de la marche tend à la baisse chez les personnes avec TSA, sans seuil de significativité dans cet échantillon préliminaire. Il en est de même pour les paramètres exploratoires de la marche (baisse de la vitesse de la marche, augmentation de la durée du cycle, longueur du cycle, durée du double appui, largeur du pas, et coefficient de variation de chacun des paramètres cités précédemment).

Enfin l'ensemble des paramètres de marche sont altérés chez les personnes avec TSA lors de la réalisation de **tâches duelles** ayant une demande cognitive importante, avec une diminution significative de la cadence, mais aussi de la durée du cycle, longueur du cycle, durée du double appui, vitesse de la marche, largeur du pas, et coefficients de variation de ces paramètres.



**Fig. 5** – (Gauche) Récapitulatif des résultats de posturométrie. Illustration des comparaisons entre le groupe Asperger et le groupe contrôle au cours des 2 tâches de posturométrie (yeux ouverts et yeux fermés), avec l'exemple de l'aire à 95% du Centre de Pression (COP) \* $p < 0,05$ . (Droite) Récapitulatif des résultats de cinématique de la marche dans les groupes C et TSA. Illustration des comparaisons entre les différentes tâches de marche (simple vs duelles), avec l'exemple de la cadence.

## Conclusion

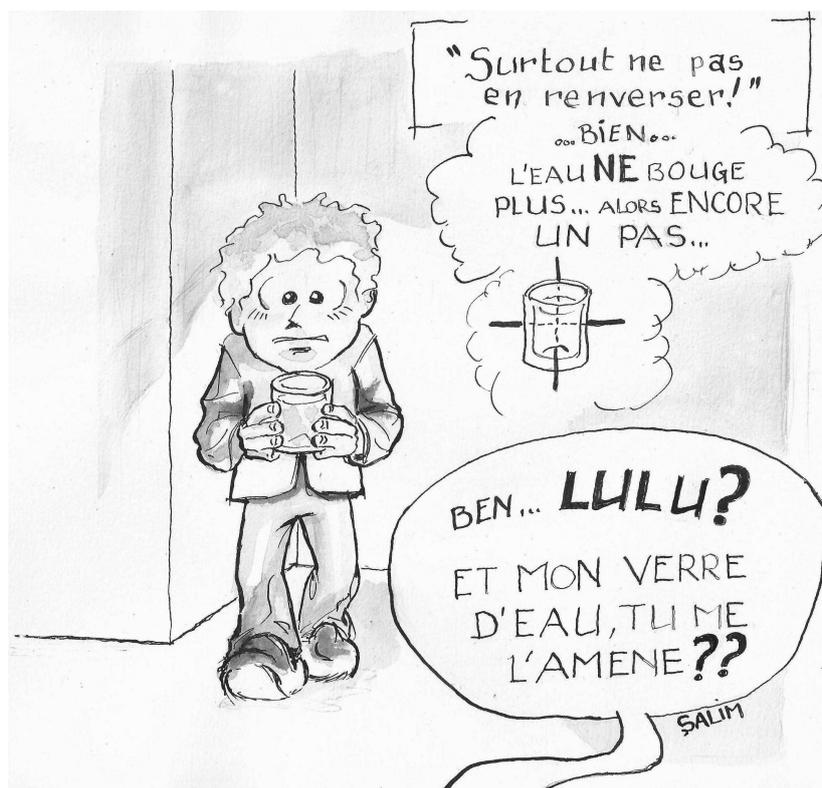
**Pour conclure**, une altération partielle qui n'atteint pas la significativité pour l'ensemble de nos paramètres sélectionnés est retrouvée dans la motricité des personnes avec TSA de notre échantillon, pour les tâches de plus bas niveau, alors qu'une altération de la motricité lors des tâches duelles est retrouvée avec significativité. L'analyse conjointe des paramètres principaux et exploratoires sus cités sont à confronter aux résultats concernant les tâches de motricité de haut niveau. Elles semblent indiquer ici que certaines compétences motrices des personnes avec TSA seraient donc préservées, mais qu'elles utiliseraient des processus différents. L'hypothèse d'une implication plus importante de la vision, de processus de planification plus lente et d'une motricité peu automatisée et très cognitivo-requérante semble intéressante à explorer. Ces résultats orientent vers l'hypothèse de l'*input/output* et de l'intégration sensorimotrice atypique dans les TSA, développée par Gowen et Hamilton [13] et sont également évocateurs du TAC. Les variabilités importantes intraindividuelles et interindividuelles que nous avons retrouvées dans ce groupe clinique poussent à répéter cette procédure chez un plus grand nombre de patients afin de renseigner les sous-types moteurs éventuels, qui permettraient de spécifier les indications de prise en charge spécifique.

## Références

- [1] Anagnostou, E., Zwaigenbaum, L., Szatmari, P., Fombonne, E., Fernandez, B. A., Woodbury-Smith, M., Scherer, S. W. (2014). Autism spectrum disorder : advances in evidence-based practice. *Canadian Medical Association Journal*, cmaj.121756.
- [2] APA American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-5*. Arlington, Va. : American Psychiatric Association. doi : 10.1503/cmaj.121756
- [2b] Blank, R., (2012) Information for parents and teachers on the European Academy for Childhood Disability (EACD) recommendations on developmental coordination disorder, *Dev Med Child Neurol*. 2012 Nov ;54(11) :e8-9. doi : 10.1111/j.1469-8749.2012.04230.x. Feb 27.
- [3] Calhoun, M., Longworth, M., & Chester, V. L. (2011). Gait patterns in children with autism. *Clinical Biomechanics*, 26(2), 200–206. doi : 10.1016/j.clinbiomech.2010.09.013
- [4] Ceccato, J.-C.. *Le tronc, de la locomotion à la commande*. Engineering Sciences. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2009. French. <tel-00493414>
- [5] Chang, C.-H., Wade, M. G., Stoffregen, T. A., Hsu, C.-Y., & Pan, C.-Y. (2010). Visual tasks and postural sway in children with and without autism spectrum disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 31(6), 1536–1542. doi : 10.1016/j.ridd.2010.06.003
- [6] Chester, V. L., & Calhoun, M. (2012). Gait Symmetry in Children with Autism. *Autism Research and Treatment*, 2012. doi : 10.1155/2012/576478
- [7] Chiari, L., Cappello, A., Lenzi, D., & Della Croce, U. (2000). An improved technique for the extraction of stochas-

- tic parameters from stabilograms. *Gait & Posture*, 12(3), 225–234. doi :10.1016/S0966-6362(00)00086-2
- [8] Esposito, G., & Pa?ca, S. P. (2013). Motor abnormalities as a putative endophenotype for Autism Spectrum Disorders. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 43. doi :10.3389/fnint.2013.00043
- [9] Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). Motor coordination in autism spectrum disorders : a synthesis and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(10), 1227–1240. doi :10.1007/s10803-010-0981-3
- [10] Gepner, B., & Mestre, D. R. (2002b). Brief Report : Postural Reactivity to Fast Visual Motion Differentiates Autistic from Children with Asperger Syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32(3), 231–238. doi :10.1023/A
- [11] Glazebrook, C. M., Elliott, D., & Szatmari, P. (2008). How do Individuals with Autism Plan Their Movements? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(1), 114–126. doi :10.1007/s10803-007-0369-1
- [12] Glazebrook, C. M., Elliott, D., & Lyons, J. (2006). A Kinematic Analysis of How Young Adults With and Without Autism Plan and Control Goal-Directed Movements. *Motor Control*, 10(3), 244–264. :1015410015859
- [13] Gowen, E., & Hamilton, A. (2013). Motor abilities in autism : a review using a computational context. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(2), 323–344. doi :10.1007/s10803-012-1574-0
- [14] Greffou, S., Bertone, A., Hahler, E.-M., Hanssens, J.-M., Mottron, L., & Faubert, J. (2012). Postural Hypo-Reactivity in Autism is Contingent on Development and Visual Environment : A Fully Immersive Virtual Reality Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(6), 961–970. doi :10.1007/s10803-011-1326-6
- [15] Hallett M, Lebedowska MK, Thomas SL, Stanhope SJ, Denckla MB, & Rumsey J. (1993). Locomotion of autistic adults. *Archives of Neurology*, 50(12), 1304–1308. doi :10.1001/archneur.1993.00540120019007
- [16] Hardan, A. Y., Kilpatrick, M., Keshavan, M. S., & Minshew, N. J. (2003). Motor performance and anatomic magnetic resonance imaging (MRI) of the basal ganglia in autism. *Journal of Child Neurology*, 18(5), 317–324.
- [17] HAS Haute Autorité de Santé. (2012). Autisme et autres troubles envahissants du développement : interventions éducatives et thérapeutiques coordonnées chez l'enfant et l'adolescent.
- [18] HAS Haute Autorité de Santé. (2010). Autisme et autres troubles envahissants du développement. Etat Des Connaissances Hors Mécanismes Physiopathologiques, Psychopathologiques et Recherche Fondamentale. Paris : HAS.
- [19] HAS Haute Autorité de Santé, Baghdadli, A., Beuzon, S., Bursztejn, C., Constant, J., Desguerre, I., ... Aussilloux, C. (2005). Recommandations pour la pratique clinique du dépistage et du diagnostic de l'autisme et des troubles envahissants du développement. *Archives de Pédiatrie*, 13(4), 373–378.
- [20] Jasmin, E., Couture, M., McKinley, P., Reid, G., Fombonne, E., & Gisel, E. (2009). Sensori-motor and daily living skills of preschool children with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(2), 231–241
- [21] Kohen-Raz, R., Volkman, F. R., & Cohen, D. J. (1992). Postural control in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 22(3), 419–432. doi :10.1007/BF01048244
- [22] Kopp, S., Beckung, E., & Gillberg, C. (2010). Developmental coordination disorder and other motor control problems in girls with autism spectrum disorder and/or attention deficit/ hyperactivity disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 31(2), 350–361. doi :10.1016/j.ridd.2009.09.017
- [23] Magalhães, L. C., Missiuna, C., & Wong, S. (2006). Terminology used in research reports of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48(11), 937–941. doi :10.1111/j.1469-8749.2006.02040.a.x
- [24] Mari, M., Castiello, U., Marks, D., Marraffa, C., & Prior, M. (2003). The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences*, 358(1430), 393–403. doi :10.1098/rstb.2002.1205
- [25] Matson, M. L., Matson, J. L., & Beighley, J. S. (2011). Comorbidity of physical and motor problems in children with autism. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2304–2308. doi :10.1016/j.ridd.2011.07.036
- [26] Ming, X., Brimacombe, M., & Wagner, G. C. (2007). Prevalence of motor impairment in autism spectrum disorders. *Brain & Development*, 29(9), 565–570. doi :10.1016/j.braindev.2007.03.002
- [27] Minshew, N. J., Sung, K., Jones, B. L., & Furman, J. M. (2004). Underdevelopment of the postural control system in autism. *Neurology*, 63(11), 2056–2061.
- [28] Molloy, C. A., Dietrich, K. N., & Bhattacharya, A. (2003). Postural Stability in Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33(6), 643– 652. doi :10.1023/B :JADD.0000006001.00667.4c
- [29] Miyahara, M. (2013). Meta review of systematic and meta analytic reviews on movement differences, effect of movement based interventions, and the underlying neural mechanisms in autism spectrum disorder. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 16. doi :10.3389/fnint.2013.00016
- [30] Nayate, A., Tonge, B. J., Bradshaw, J. L., McGinley, J. L., Iansek, R., & Rinehart, N. J. (2012). Differentiation of High-Functioning Autism and Asperger's Disorder Based on Neuromotor Behaviour. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(5), 707–717. doi :10.1007/s10803-011-1299-5
- [31] Nazarali, N., Glazebrook, C. M., & Elliott, D. (2009). Movement Planning and Reprogramming in Individuals With Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(10), 1401–1411. doi :10.1007/s10803-009-0756-x
- [32] NICE, National Institute for Health and Care Excellence (2001) Autism diagnosis in children and young people <https://www.nice.org.uk/guidance/cg128/resources>

- [33] Nobile, M., Perego, P., Piccinini, L., Mani, E., Rossi, A., Bellina, M., & Molteni, M. (2011). Further evidence of complex motor dysfunction in drug naïve children with autism using automatic motion analysis of gait. *Autism*, 15(3), 263–283. doi :10.1177/1362361309356929
- [34] Nolan, L., Grigorenko, A., & Thorstensson, A. (2005). Balance control : sex and age differences in 9- to 16-year-olds. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(7), 449–454. doi :10.1111/j.1469-8749.2005.tb01170.x
- [35] Peters, L. H. J., Maathuis, C. G. B., & Hadders-Algra, M. (2013). Neural correlates of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55 Suppl 4, 59–64. doi :10.1111/dmcn.12309
- [36] Rinehart, N. J., Bellgrove, M. A., Tonge, B. J., Brereton, A. V., Howells-Rankin, D., & Bradshaw, J. L. (2006). An Examination of Movement Kinematics in Young People with Highfunctioning Autism and Asperger's Disorder : Further Evidence for a Motor Planning Deficit. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(6), 757–767. doi :10.1007/s10803-006-0118-x
- [37] Rinehart, N. J., Tonge, B. J., Iansek, R., McGinley, J., Brereton, A. V., Enticott, P. G., & Bradshaw, J. L. (2006). Gait function in newly diagnosed children with autism : cerebellar and basal ganglia related motor disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48(10), 819–824. doi :10.1017/S0012162206001769
- [38] Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2001). Movement Preparation in High-Functioning Autism and Asperger Disorder : A Serial Choice Reaction Time Task Involving Motor Reprogramming. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 79–88. doi :10.1023/A :1005617831035
- [39] Sacrey, L.-A. R., Germani, T., Bryson, S. E., & Zwaigenbaum, L. (2014). Reaching and Grasping in Autism Spectrum Disorder : A Review of Recent Literature. *Frontiers in Neurology*, 5, 6. doi :10.3389/fneur.2014.00006
- [40] Vernazza-Martin, S., Martin, N., Vernazza, A., Lepellec-Muller, A., Rufo, M., Massion, J., & Assaiante, C. (2005). Goal Directed Locomotion and Balance Control in Autistic Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(1), 91–102. doi :10.1007/s10803-004-1037-3
- [41] Vilensky JA, Damasio AR, & Maurer RG. (1981). Gait disturbances in patients with autistic behavior : A preliminary study. *Archives of Neurology*, 38(10), 646–649. doi :10.1001/archneur.1981.00510100074013
- [42] Volkmar F, Siegel M., Woodbury-Smith M., King B., McCracken J., State M., and the AACAP Committee on Quality Issues (2014) Practice Parameter for the Assessment and Treatment of Children and Adolescents With Autism Spectrum Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, Volume 53, Issue 2, 237 - 257
- [43] Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder : a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(3), 217–228. doi :10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x
- [44] Yirmiya, N., & Charman, T. (2010). The prodrome of autism : early behavioral and biological signs, regression, peri- and postnatal development and genetics. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 51(4), 432–458. doi :10.1111/j.1469-7610.2010.02214.x



# Locomotion et développement psychologique de l'enfant : plaider pour une intervention précoce ?

Marianne Barbu-Roth<sup>1</sup>, David Anderson<sup>2</sup>

L'ACQUISITION de la marche est une étape fondamentale dans le développement du jeune enfant car elle lui offre une opportunité totalement nouvelle d'explorer son environnement de manière indépendante sur de longues distances et d'interagir avec cet environnement pour y prendre sa propre place. Il n'est donc pas surprenant qu'ingénieurs, biologistes, neurologues, cliniciens et psychologues se soient intéressés depuis de nombreuses années à comprendre comment un nourrisson devient capable de se redresser debout et faire ses premiers pas vers l'âge de 10-12 mois, comment cette marche se développe au cours du temps, quels sont les facteurs qui contrôlent cette activité et quels sont les moyens d'améliorer le développement de cette marche chez un enfant à risque de retard locomoteur à la suite d'un accident ou d'une anomalie du développement. Le but de cet article n'est pas de résumer ces nombreux travaux, indispensables à notre compréhension des mécanismes de la marche, mais d'aborder un domaine beaucoup moins exploré et pourtant essentiel au développement du jeune enfant. Il s'agit en effet de comprendre :

- 1) quels sont les effets de la pratique de la marche sur le développement psychologique de l'enfant,
- 2) quelles sont les conséquences psychologiques d'une anomalie du développement de la locomotion chez l'enfant atypique et enfin,
- 3) quel est l'intérêt d'intervenir le plus tôt possible pour entraîner la locomotion non pas de manière mécanique mais pour favoriser ses effets sur le développement cognitif chez des enfants à risque de retard locomoteur.

## Rôle de la locomotion dans le développement psychologique de l'enfant

La capacité du nourrisson à déplacer son corps de manière autonome sur de longues distances lui ouvre de riches opportunités de recueillir de nouvelles informations sur des personnes, objets, surfaces ou autres éléments de son environnement qui jusque là étaient en dehors de son périmètre d'atteinte manuelle et d'une manière générale de sa portée non seulement perceptive mais d'action. Tout se passe comme si l'enfant sortait de sa *bulle péri-personnelle* délimitée par ses actions manuelles et partait à la conquête d'un monde quasi infini pour mener ses futures actions. Il n'est donc pas surprenant qu'au-delà de son rôle pour permettre à l'enfant de se déplacer d'une place à une autre, l'avènement de la marche ait de multiples conséquences sur le développement psychologique de l'enfant.

Plusieurs auteurs ont pointé ce rôle clef de la locomotion dans le développement de l'enfant. Ainsi, le psychanalyste Malher parle de l'émergence de la marche autonome comme d'une deuxième naissance psychologique [26]. Piaget [27, 28] argumente que le développement de l'intelligence est intimement lié aux interactions entre les mouvements produits par l'enfant (dont la locomotion) et les informations sensorielles qui en découlent. Gibson [18, 19], lui aussi, met en avant l'importance des actions telles que la locomotion pour révéler à l'enfant, des informations cruciales sur son environnement.

Malgré ce rôle central donné à la marche par ces auteurs, très peu de travaux existent sur les conséquences de l'avènement de la locomotion dans le développement psychologique de l'enfant. Plusieurs raisons expliquent pourquoi ce domaine de recherche est resté peu exploré jusqu'à présent. D'une part, une série d'expériences menées dans les années 1930 n'ont pas réussi à montrer un lien entre une précocité du développement moteur pendant la petite enfance et la prédiction d'un meilleur dévelop-

1. Institut Neurosciences et Cognition, UMR 8158 CNRS, Université Paris Descartes

2. San Francisco State University, University of California – Berkeley

pement intellectuel [25]. Ces études posent cependant plusieurs problèmes d'une part dans les critères utilisés pour évaluer le développement moteur et intellectuel et d'autre part dans le fait que ces évaluations sont très globales et ne s'intéressent pas à regarder l'effet d'un développement moteur donné, comme la locomotion, sur une compétence donnée, par exemple l'orientation spatiale. Une autre raison pour laquelle le rôle de la locomotion dans le développement psychologique a été négligé, repose sur la théorie, dominante au vingtième siècle, selon laquelle, le développement est vu soit d'un point de vue nativiste, le patrimoine génétique étant le principal acteur du développement psychologique, soit à l'inverse, en reconnaissant le rôle clef de l'expérience mais le plus souvent en négligeant le fait que l'enfant devait être un sujet actif et non passif dans ces expériences. Enfin, il faut reconnaître que mener des recherches sur le rôle de la locomotion dans l'émergence de telle ou telle compétence perceptive, motrice ou cognitive demande une démarche particulièrement difficile :

- 1) pour recruter et comparer des enfants ayant le même âge mais des expériences de marche différentes,
- 2) pour créer des protocoles permettant de tester une compétence psychologique parmi d'autres et
- 3) enfin et surtout, démontrer que l'expérience de la locomotion est bien la cause à l'origine du changement psychologique et non pas seulement un facteur corrélé.

Pour toutes ces raisons, l'effet de l'avènement de la locomotion sur le développement psychologique de l'enfant a été peu étudié. C'est seulement récemment que les effets de l'expérience active de la locomotion ont été le sujet d'études empiriques (voir [5, 13] pour des revues). Ces études ont montré que la locomotion est un évènement pivot dans la vie du jeune enfant, provoquant de nombreux changements dans différentes fonctions psychologiques, induisant, par exemple, des modifications des interactions entre la perception et les actions motrices de l'enfant, dans son orientation spatiale, sa mémoire, ses relations sociales, ses émotions, son sommeil et son langage. Bien plus, ces études révèlent que la locomotion n'est pas un simple antécédent génétiquement programmé pour émerger en même temps que ces changements, mais que la pratique active de la locomotion est bien l'élément causal, déclenchant ces changements fonctionnels [34]. Certaines études

ont même permis de mettre à jour les processus par lesquels la pratique de la marche provoquait un changement drastique dans la façon dont l'enfant utilisait telle ou telle compétence psychologique [15].

#### *Crainte des hauteurs et proprioception visuelle périphérique*

La crainte des hauteurs et le recul devant un précipice existent aussi bien chez l'homme que chez de nombreux animaux. Le simple fait de devoir marcher sur un précipice pourtant recouvert par une surface solide mais transparente déclenche de fortes émotions de crainte chez de nombreuses personnes, un phénomène souvent considéré comme inné. Pourtant la crainte des hauteurs n'est pas un processus inné, n'est pas présente dès la naissance et ne se développe pas à la suite d'expériences de chutes. La crainte des hauteurs et des précipices émerge seulement au moment où l'enfant se met à se déplacer de manière autonome.

De plus, il faut attendre plus de six semaines de pratique active de la marche (études effectuées sur la marche à quatre pattes) pour que l'enfant commence à éviter les précipices [13]. Que se passe-t-il ? Il ne s'agit pas pour l'enfant d'un apprentissage de la perception des profondeurs, notion qu'il acquiert dès les premiers mois de vie, bien avant la marche. C'est au niveau de sa perception visuelle de ses propres mouvements que tout se joue. Cette perception, encore appelée *proprioception visuelle*, est une perception cruciale pour nous permettre de bouger dans notre environnement : c'est même l'indicateur principal que nous utilisons le plus souvent en tant qu'adultes pour savoir à quelle vitesse et dans quel orientation nous sommes en train de marcher.

En effet, dès que nous nous déplaçons, nous provoquons un défilement visuel de notre environnement qui se manifeste par des flux optiques pénétrant notre rétine et nous signalant la vitesse et l'orientation de notre déplacement. Ce sont les mêmes types de flux que nous percevons par la fenêtre lorsque nous sommes dans un train roulant, sauf que nous bougeons de manière passive. Notre système de couplage – locomotion-proprioception visuelle – est tellement rôdé que la plupart du temps nous ne faisons même plus attention à ces flux générés en permanence dès que nous nous déplaçons.

Cependant si nous sommes assis dans un train, à l'arrêt cette fois, et que le train voisin démarre, les flux optiques créés dans notre champ visuel périphérique par le train voisin vont tromper notre cer-

veau qui va y réagir : c'est la fameuse expérience où nous avons l'illusion, pendant quelques secondes, que c'est notre propre train qui a démarré et qui nous fait faire inconsciemment un bond dans notre fauteuil.

En quoi la proprioception visuelle et la perception de flux optiques dans leur champ visuel périphérique pourraient être liées avec l'émergence de la crainte des hauteurs chez les enfants marcheurs expérimentés ?

En comparant la capacité à réagir aux flux optiques périphériques d'enfants locomoteurs de même âge, qui sont, soit locomoteurs expérimentés, soit locomoteurs débutants, les auteurs de ces recherches ont découvert que seuls les marcheurs expérimentés étaient sensibles aux flux périphériques. Bien plus, ils ont observé que plus ils étaient sensibles à ces flux, plus la probabilité que ces enfants évitent les précipices était grande (probabilité mesurée par leur traversée ou non d'une falaise virtuelle, protégée par un plexiglass). L'explication avancée par les chercheurs est qu'au bout de six semaines de pratique progressive de la marche à quatre pattes, les enfants apprennent de plus en plus à utiliser les flux optiques périphériques pour stabiliser leur posture et s'informer sur la vitesse et l'orientation de leurs déplacements. Lorsqu'ils arrivent au-dessus d'une falaise, ils se retrouvent soudainement privés de ces flux car la profondeur de la falaise ne permet pas de générer des flux optiques, trop éloignés : ces enfants ne vont donc pas traverser car ils n'ont plus l'information principale leur permettant d'évaluer leur équilibre et leurs mouvements.

À l'inverse, les locomoteurs inexpérimentés, qui ne sont pas encore sensibles aux flux périphériques, vont traverser. Afin de démontrer cette implication causale de la pratique de la locomotion dans la sensibilité aux flux périphériques et la crainte des hauteurs, ces auteurs ont alors effectué une expérience dans laquelle ils ont entraîné des enfants non locomoteurs mais tous du même âge, à conduire activement une petite voiture électrique grâce à une manette simple à utiliser. Dans ces conditions, les enfants non locomoteurs génèrent des flux optiques périphériques dès qu'ils font avancer activement leur petite voiture. Après quinze jours de cet entraînement, le groupe entraîné développe effectivement une plus grande sensibilité aux flux optiques et une crainte des hauteurs, contrairement à un groupe non locomoteur du même âge mais non entraîné.

Ces résultats soulignent l'importance d'élaborer une recherche appropriée pour étudier les conséquences de la locomotion sur le développement psychologique de l'enfant, ici la modification de sa perception visuelle de ses propres mouvements et sa capacité à éviter les précipices, deux fonctions vitales. Ces recherches indiquent également le danger de laisser sans une surveillance étroite des enfants qui commencent à marcher. Enfin ces recherches posent la question de savoir comment certains enfants présentant des troubles du développement moteur et/ou visuel utilisent leurs flux optiques périphériques, gèrent leur équilibre postural et réagissent devant des précipices.

#### *Localisation spatiale*

Un grand nombre d'auteurs ont spéculé que l'avènement de la locomotion devrait augmenter considérablement la capacité des enfants à s'orienter dans l'espace et en particulier à retrouver la localisation spatiale d'un objet qu'ils ont vu précédemment à une place donnée et qui est maintenant caché à leur vue [11, 12, 3, 4, 10].

Horobin et Acredolo [20] furent les premiers à montrer que les enfants les plus expérimentés pour se déplacer sont les meilleurs pour retrouver des objets cachés.

Kermoian et Campos [23] en utilisant des tests de recherche spatiale similaires sont allés plus loin en montrant qu'à âge égal (8,5 mois), les enfants ayant au moins 9 semaines de pratique de la locomotion, soit à quatre pattes soit à l'aide d'un trotteur, étaient significativement plus compétents que des enfants du même âge mais sans pratique de la locomotion. La même conclusion a été rapportée dans une autre étude compliquant le test de recherche spatiale des enfants en les déplaçant entre le moment où ils voient l'expérimentateur cacher l'objet et celui où ils sont autorisés à chercher l'objet [6]. Toutes ces études indiquent qu'en se déplaçant de manière autonome, l'enfant apprend progressivement à mieux se repérer dans l'espace. Que se passe-t-il lors de cet apprentissage ?

Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'effet positif de la locomotion sur l'orientation spatiale de l'enfant. Tout d'abord l'enfant locomoteur est obligé d'apprendre à utiliser d'autres stratégies de repérage que celles basées seulement sur la place des objets par rapport à sa propre position : cet objet se trouve à ma droite par exemple (codage dit *égocentré*). Ce type de codage est parfaitement adapté à condition

que le sujet ne bouge pas de position mais n'est plus adapté si celui-ci se déplace lui-même d'une position à une autre, comme le fait l'enfant locomoteur. Dans ce dernier cas, l'enfant est obligé de repérer la place des objets non plus en fonction de sa propre place mais en s'aidant d'autres indicateurs spatiaux placés autour de l'objet : c'est ce que l'on appelle une stratégie de codage *allocentré* pour faire référence au fait que l'objet, par exemple, est placé entre cette table et ce fauteuil. Il est donc probable que l'avènement de la marche autonome oblige l'enfant à apprendre à être attentif et à utiliser de mieux en mieux des repères *allocentrés* pour se diriger, augmentant ainsi ses compétences spatiales.

L'avènement et la pratique de la marche autonome pourraient également jouer un rôle important en améliorant l'attention visuelle et la discrimination des repères par l'enfant, en augmentant son champ visuel ainsi que sa capacité à mémoriser des scènes pendant plus longtemps et enfin en induisant progressivement sa meilleure compréhension des intentions des autres [13]. Ces mécanismes restent cependant à démontrer, de même que le rôle causal de la locomotion dans de telles modifications.

#### *Avènement de la marche et développement de la communication*

Bouger pour communiquer : cette formule pourrait résumer les effets remarquables de la locomotion autonome sur le développement de la communication chez le jeune enfant. Lorsque l'enfant commence à se déplacer et donc, à s'éloigner de ses parents, un changement majeur survient dans le développement de sa communication qui doit passer d'un mode proximal à un mode distal. À distance de ses interlocuteurs, l'enfant va être en effet contraint d'adopter de nouvelles stratégies pour transmettre ses intentions et émotions en modifiant aussi bien son langage corporel et ses gestes, que ses vocalisations [13]. Il n'est donc pas étonnant que l'émergence de la locomotion ait été récemment corrélée à un développement du langage [37]. Pourtant très peu de recherches existent à l'heure actuelle dans ce domaine, alors que l'acquisition de la marche peut être un facteur déterminant pour stimuler le développement du langage. De même, très peu d'études existent sur les modifications de la communication des parents avec leur enfant lorsque ce dernier commence à marcher. Or l'éloignement oblige également les parents à modifier leur langage, en changeant par exemple le ton et le volume de leur voix, en augmen-

tant les échanges face à face avec leur enfant (voir [13] pour une revue).

Parallèlement à ces modifications, un changement majeur s'opère également dans la perception par l'enfant locomoteur des signaux émis à distance par ses interlocuteurs. Ce phénomène a été particulièrement étudié par le groupe de Campos en particulier en ce qui concerne la capacité de l'enfant à joindre son attention visuelle à celle de son interlocuteur. L'attention visuelle jointe est une compétence clef dans le développement cognitif de l'enfant, puisqu'elle lui permet de partager et intégrer les informations que lui transmet une personne sur de multiples scènes dans son environnement distal : l'adulte peut ainsi transmettre par exemple le nom d'un objet éloigné ou commenter une scène etc... Or, avant l'avènement de la marche, l'enfant, placé devant un adulte qui commente et lui montre du doigt un événement éloigné, n'est pas capable le plus souvent de faire le lien entre ce que lui communique l'adulte et l'événement distal. Il est même fréquent de voir l'enfant non locomoteur regarder seulement le doigt de l'adulte qui lui pointe un événement, négligeant l'événement intéressant pointé par le doigt.

À l'inverse l'enfant capable de marcher à quatre pattes depuis quelques semaines va acquérir la capacité d'attention visuelle jointe à distance et suivre du regard ce que l'adulte lui indique, même si cet événement est situé dans un champ visuel éloigné de celui où se trouve l'adulte. Plusieurs mécanismes peuvent expliquer cet effet de la locomotion sur l'attention visuelle jointe. L'un des effets de la locomotion est probablement d'augmenter l'attention visuelle de l'enfant et sa capacité à détecter des champs visuels de plus en plus larges.

### *De nouvelles émotions et l'apparition du social referencing*

Enfin, l'avènement de la locomotion marque une étape importante dans l'apparition du *social referencing* et l'émergence de nouvelles émotions. En s'éloignant de ses référents parentaux l'enfant doit en effet apprendre à contrôler sa distance avec ses parents tout en les gardant à proximité lorsqu'il ne se sent pas en sécurité dans l'exploration de son environnement : il commence alors à chercher à distance ou en se rapprochant d'eux, les signaux de ses parents qui peuvent le rassurer par exemple sur la possibilité de traverser telle surface, le danger que représente telle personne ou tel animal, etc. Ces regards fréquents vers les parents, avant d'effectuer une action, sont le signe que l'enfant apprend à utiliser des référents sociaux, une étape majeure dans le développement de l'enfant [13]. Parallèlement au *social referencing* de nouvelles émotions émergent au moment où l'enfant part à la conquête du monde : colère, honte, fierté qui vont amener de nouveaux modes d'expression.

Les parents ne sont pas indemnes de ces changements émotionnels. Certaines mères font même état d'une dépression passagère, se sentant dépassées par l'énergie ou les colères nouvelles de leur enfant, ajouté au fait que celui-ci présente fréquemment des perturbations passagères de son sommeil au moment de l'acquisition de la marche. Par ailleurs, les parents rapportent souvent qu'ils changent de comportement vis-à-vis de leur enfant, lui demandant plus souvent d'être obéissant, et se mettant parfois en colère en élevant la voix pour se faire entendre.

En conclusion, l'avènement de la marche autonome semble briser en quelque sorte la symbiose des parents et de leur enfant, provoquant autonomie et intentionnalité chez l'enfant tout en déclenchant une période de contradictions pour les parents. D'un côté ceux-ci vont être fiers et encourager cette exploration et de l'autre ils doivent interdire les dangers auxquels s'expose leur petit explorateur. Certains parents sont heureux de la nouvelle autonomie de leur enfant, d'autres pas. Ces changements vont induire de profondes modifications dans la cellule familiale et entraîner de nouveaux modes de communication de part et d'autre tout en provoquant une étape déterminante dans le développement psychologique de l'enfant avec une stimulation du langage, des émotions, de l'attention visuelle jointe et du *social referencing*.



### **Conséquences d'un trouble du développement locomoteur sur le développement psychologique de l'enfant**

#### *Conséquences sur les compétences spatiales*

Plusieurs travaux suggèrent que des enfants présentant un retard de la marche pour des raisons orthopédiques ou neurologiques (spina bifida) sans atteinte cérébrale, présentent un retard dans leurs compétences spatiales [14, 29]. L'idée que des limitations motrices puissent contribuer à limiter des fonctions perceptives et cognitives chez des enfants handicapés moteurs n'est pas nouvelle [1, 2, 24].

Pourtant, très peu de travaux ont été réalisés sur ce sujet. Il existe même une forte résistance à reconnaître un tel lien entre motricité et cognition, en particulier dans le milieu pédiatrique [5]. Cette situation est probablement due au fait qu'il est souvent difficile de savoir si un déficit cognitif est le résultat d'un pur déficit moteur ou d'un déficit moteur provenant d'une atteinte cérébrale affectant également les fonctions cognitives. En dépit de ce problème, il existe actuellement plusieurs études montrant qu'un déficit moteur, sans atteinte cérébrale associée, peut ralentir le développement cognitif spatial de l'enfant, en particulier en ce qui concerne ses compétences de navigation spatiale.

Une des premières études sur ce sujet a été menée par Simms [31] sur de jeunes adultes atteints d'un spina bifida et devant apprendre à se repérer lors de leur déplacement dans différents environnements. Non seulement les performances spatiales de ces sujets se sont révélées significativement inférieures à celles de sujets typiques du même âge, mais les per-

performances des sujets atteints de spina bifida se sont également révélées fonction du niveau de compétence locomotrice du sujet : les sujets se déplaçant en chaise roulante étant moins performants que les sujets pouvant marcher de manière autonome.

Plusieurs études récentes ont confirmé que les enfants présentant un handicap physique ont souvent des difficultés à acquérir les compétences spatiales nécessaires à leur navigation autonome dans leur environnement [17, 16, 32, 36]. L'étude de Foreman et ses collègues [16] est particulièrement intéressante car elle suggère que le fait d'être actif dans la décision de choisir telle ou telle route de navigation serait un facteur clef pour apprendre à se repérer dans l'espace et acquérir de bonnes compétences de navigation spatiale. Ainsi, pourrait s'expliquer pourquoi l'acquisition de la marche autonome vers l'âge d'un an serait déterminante pour que le jeune enfant commence à apprendre à mieux se repérer spatialement.

Dans l'étude de Foreman et collègues [16], quatre conditions de navigation ont été testées sur des enfants de 4 à 6 ans : soit ils peuvent marcher de manière autonome dans l'environnement, soit ils marchent mais sont déplacés par un expérimentateur, soit ils sont déplacés passivement dans une chaise roulante par un expérimentateur, soit enfin, ils sont déplacés dans une chaise roulante par un expérimentateur mais dirigent celui-ci pour choisir leur route. Les résultats montrent que les enfants qui peuvent choisir activement leur route en marchant d'eux-mêmes ou en dirigeant le déplacement de leur chaise roulante par l'expérimentateur, sont meilleurs pour repérer et retrouver leur chemin vers des objets présents lors de leur déplacement. Depuis cette étude, de nombreux travaux sur des enfants typiques ont confirmé que la locomotion *active* était déterminante pour le développement de leurs performances spatiales [38].

En conclusion, il existe clairement un lien entre le développement de la mobilité et celui des compétences spatiales. Il reste néanmoins encore de nombreuses recherches à initier pour comprendre quels sont les mécanismes sous-tendant ce lien chez l'enfant handicapé. De même, peu d'études ont été effectuées pour évaluer les conséquences d'un handicap isolé de la mobilité sur le développement de la proprioception visuelle et, en général, de la perception de son environnement par l'enfant, le développement de sa communication, ses émotions et ses relations sociales. Les travaux pionniers sur la mobi-

lité et le développement des performances spatiales posent une question intéressante au regard de l'intervention thérapeutique. S'il est indiscutable que des enfants présentant un risque de retard/anomalie de la marche, doivent pouvoir bénéficier des meilleurs protocoles pour stimuler leur mobilité, il est crucial également de garder à l'esprit que plus l'enfant pourra pratiquer un *déplacement actif* et non passif (et ceci dans un environnement lui permettant d'explorer de lui-même des contextes perceptifs *variés et à sa portée*), plus il aura des chances de développer des compétences cognitives adaptées à ses actions futures. De tels protocoles d'intervention sont complexes et ouvrent certaines questions que nous nous proposons de discuter dans la section suivante.

### **Des pistes pour une intervention précoce : de quelle locomotion parle-t-on ?**

Il n'est pas dans notre intention ici de discuter en détail des différentes techniques d'intervention pour stimuler la marche chez des enfants à risque de retard/ handicap locomoteur, mais de soulever brièvement certaines questions.

#### *Quand intervenir ?*

La plupart des entraînements à la marche sont pratiqués tardivement, le plus souvent à partir du moment où le diagnostic de retard locomoteur est posé, vers l'âge de 18 mois. Pourtant, plusieurs études suggèrent que l'entraînement pourrait commencer beaucoup plus tôt, quelques mois après la naissance (revue [35]), voire même dès la naissance dans les groupes d'enfants à risque [8, 9].

En effet, contrairement à une idée reçue, les nourrissons de 2 à 3 mois sont tout à fait capables d'effectuer des pas alternés s'ils sont entraînés sur un tapis roulant et ceci bien avant d'être capables de marcher de manière indépendante. Cette activation de la marche sur tapis roulant peut même être obtenue chez des nouveau-nés [30]. Or un entraînement journalier de quelques minutes sur tapis roulant, commencé dès l'âge de 3-4 mois et poursuivi pendant quelques mois, a pour conséquence d'accélérer l'émergence de la marche bipède et surtout d'en améliorer la qualité chez des enfants tout venants mais aussi chez certains enfants qui sinon développent des anomalies [33].

La stimulation précoce de la marche bipède sur tapis roulant est cependant souvent mal considérée dans le milieu médical pour plusieurs raisons. D'une part, elle nécessite l'intervention d'une personne ex-

périmentée pour bien positionner l'enfant sur le tapis, en particulier pour éviter le risque de déformation des hanches par le poids de l'enfant, d'autre part, cette stimulation est essentiellement mécanique : le tapis roulant ne permet pas à l'enfant de marcher dans un environnement naturel et donc d'apprendre à adapter ses pas à différents contextes, enfin cet entraînement est essentiellement passif. D'autres pratiques d'entraînement sont-elles envisageables chez le jeune nourrisson ?

#### *Quel type de locomotion veut-on favoriser ?*

Afin de stimuler l'activité locomotrice chez l'enfant à risque de retard, de nombreux praticiens proposent actuellement un entraînement « segmentaire » des différentes parties du corps intervenants dans la marche : musculation des jambes, entraînement de la posture debout, etc. Ces entraînements sont indispensables mais restent segmentaires et ne font pas toujours intervenir la stimulation d'un *pattern* complet des mouvements du corps afin d'obtenir une propulsion. La marche bipède étant difficile à mettre en place chez le tout jeune nourrisson, en particulier chez ceux présentant des problèmes de tonicité et d'équilibre postural, un autre candidat éventuel pour stimuler la mobilité pourrait être la marche quadrupède. Celle-ci peut en effet être entraînée dès la naissance et son entraînement quotidien dès les premiers mois, sous la surveillance d'un praticien, a permis d'observer des résultats encourageants chez des enfants à risque de retard locomoteur, avec une amélioration notable de leur marche quadrupède puis bipède [21, 22]. L'avantage de la marche quadrupède est de ne pas entraîner de risque pour les hanches de l'enfant et de ne pas nécessiter que celui-ci soit assez tonique pour se maintenir debout. Par ailleurs, la marche quadrupède permet d'entraîner également les mouvements de bras, peu sollicités dans les entraînements bipèdes alors que les bras jouent un rôle majeur même lors de la marche érigée.

#### *Marcher pour quoi faire ?*

Un des problèmes majeurs de l'entraînement à la marche est qu'il est souvent mécanique et répétitif dans un environnement dénué de stimulus motivants pour l'enfant qui, de plus, n'est pas libre de se déplacer par lui-même. Quels que soient les moyens choisis pour stimuler la marche, il est clair que de meilleurs résultats seraient obtenus si l'enfant était mieux motivé pour faire des efforts et pouvait explorer son environnement. L'équipe de B. Ulrich a observé ce phénomène dans une étude où les encoura-

gements prodigués à l'enfant amélioreraient considérablement ses performances [33]. Récemment, nous avons également montré que le fait de placer le nourrisson dans une situation de réalité virtuelle, comme s'il se déplaçait lui-même, augmentait ses pas de manière significative [7, 8]. Dans ces études, des stimulations visuelles étaient projetées sous les pieds de l'enfant (formant un tapis visuel se déroulant en continu) pour simuler la propulsion de l'enfant vers l'avant. Ces résultats ont été obtenus chez le nouveau-né et pourraient être une option intéressante pour stimuler par exemple la marche quadrupède dès la naissance. Des facteurs motivants peuvent être également utilisés (sons, odeurs, objets visuels etc.), sans oublier de proposer progressivement à l'enfant de se déplacer dans des environnements modifiés afin de l'habituer à adapter ses pas à des contextes multiples.

Enfin, il est essentiel de favoriser dès que possible une participation active de l'enfant à ses propres déplacements (cette stratégie n'exclut pas, d'ailleurs, d'effectuer des entraînements plus mécaniques en parallèle). Il est en effet primordial, de notre point de vue, de mettre l'enfant dans les meilleures conditions pour qu'il puisse déclencher lui-même sa propulsion, même si ses déplacements sont minimes, afin de favoriser, le plus tôt possible, l'effet de la locomotion sur le développement psychologique de l'enfant.

En conclusion, l'avènement d'une marche active et indépendante est une étape essentielle pour booster le développement sensori-moteur et cognitif du jeune enfant. Il est donc important de ne pas perdre de vue qu'un entraînement de la marche chez un enfant à risque de handicap doit pouvoir permettre à cet enfant non seulement d'apprendre à marcher « mécaniquement », mais de profiter d'un moyen de locomotion actif et indépendant lui ouvrant l'exploration de son environnement dans les meilleures conditions.

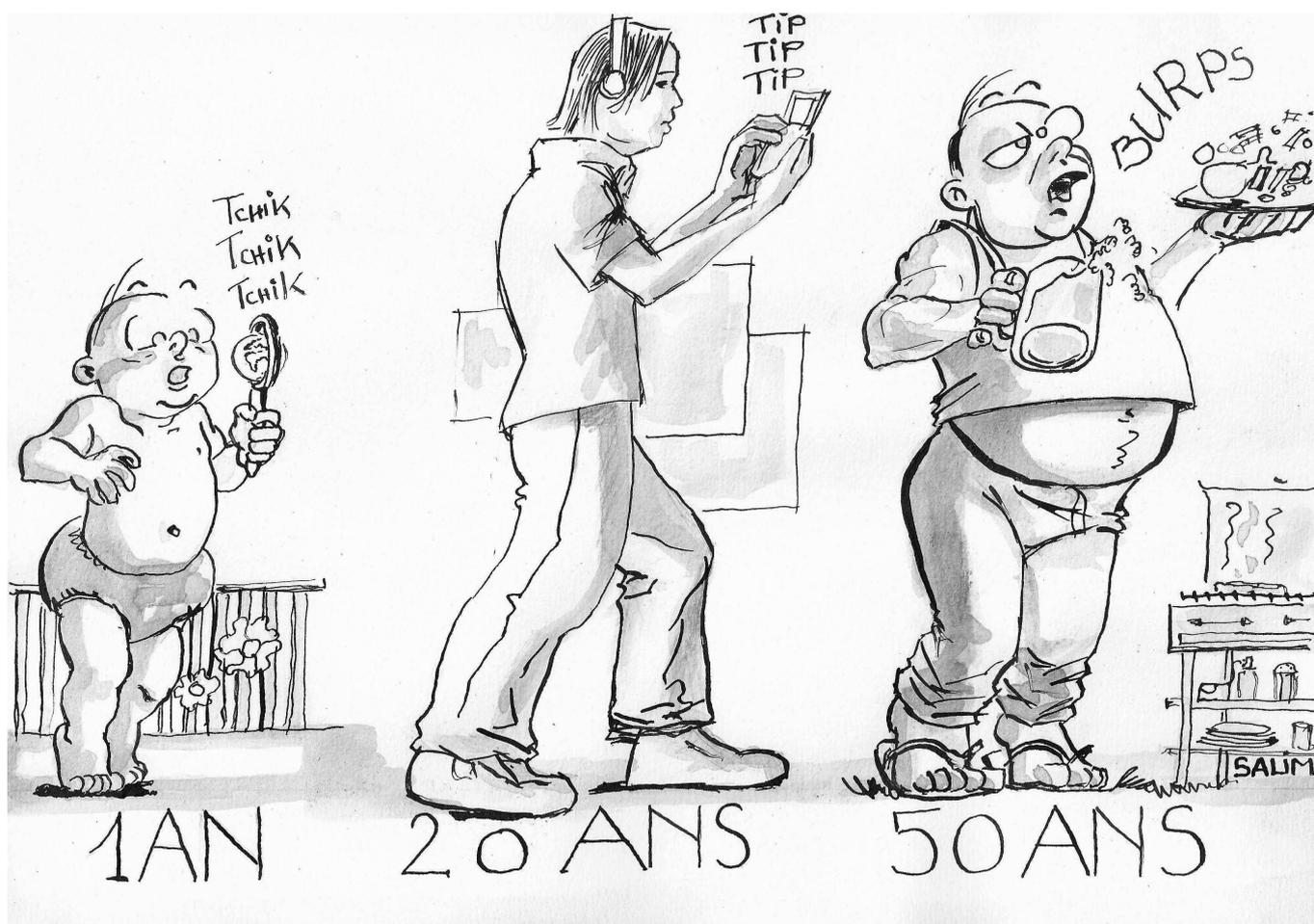
## Références

- [1] Abercrombie, M. L. J. (1964). *Perceptual and Visuomotor Disorders in Cerebral Palsy : a Review of the Literature*. London : Spastics Society/Heinemann.
- [2] Abercrombie M. L. J. (1968). Some notes of spatial disability : movement intelligence quotient and attentiveness. *Dev Med Child Neurol* 10 :2, 206-213. doi : 10.1111/j.1469-8749.1968.tb02869.x.

- [3] Acredolo, L. P. (1978). Development of spatial orientation in infancy. *Dev. Psychol.* 14, 224-234. doi :10.1037/0012-1649.14.3.224.
- [4] Acredolo, L. P. (1985). "Coordinating perspectives on infant spatial orientation," In *The Development of Spatial Cognition*, ed. R. Cohen (Hillsdale, NJ : LEA ), 115-140.
- [5] Anderson, D. I., Campos, J. J., Rivera, M., Dahl, A., Uchiyama, I., and Barbu-Roth, M. (2014). "The consequences of independent locomotion for brain and psychological development," In *Cerebral Palsy in Infancy and Early Childhood*, ed. R. C. Shepherd (Amsterdam : Elsevier), 199-223.
- [6] Bai, D. L., Bertenthal, B. I. (1992). Locomotor status and the development of spatial search skills. *Child Dev.* 63, 215-226. doi :10.2307/1130914.
- [7] M. Barbu-Roth, D.I. Anderson, A. Desprès, J. Provasi, C. Cabrol, J.J. Campos (2009). Neonatal Stepping in relation to terrestrial optic flow. *Child Development*, 80,1, 8-14.
- [8] M. Barbu-Roth, D. I. Anderson, A. Desprès, R. J. Streeter, D. Cabrol, J. J. Campos, J. Provasi (2014). Air Stepping in Response to Optic Flows that Move Toward and Away from the Neonate. *Developmental Psychobiology*, 56 (5), 1142-1149 ; doi : 10.1002/dev.21174.
- [9] M. Barbu-Roth, D. I. Anderson, R.J. Streeter, M. Combrouze, J. Park, B. Schulz, J. J. Campos, F. Goffinet, J. Provasi (2015). Why Does Infant Stepping Disappear and Can It Be Stimulated by Optic Flow ? *Child Development*, 86 (2), 441-455 ; DOI : 10.1111/cdev.12305
- [10] Bremner, J. G. (1985). Object tracking and search in infancy : A review of data and a theoretical evaluation. *Dev. Rev.* 5 :4, 371-396. doi :10.1016/0273-2297(85)90018-8.
- [11] Bremner, J. G., Bryant, P. E. (1977). Place versus response as the basis of spatial errors made by young infants. *J. Exp. Child Psychol.* 23, 162-171. doi : 10.1016/0022-0965(77)90082-0.
- [12] Campos, J. J., Hiatt, S., Ramsay, D., Henderson, C., and Svejda, M. (1978). "The emergence of fear on the visual cliff" In *The Origins of Affect*, eds M. Lewis and L. Rosenblum (New York : Plenum Press), 149-182.
- [13] Campos, J. J., Anderson, D. I., Barbu-Roth, M. A., Hubbard, E. M., Hertenstein, M. J., Witherington, D. (2000). Travel broadens the mind. *Infancy* 1, 149-219. doi : 10.1207/S15327078IN01021.
- [14] Campos J. J., Anderson D. I., Telzrow R. (2009). Locomotor experience influences the spatial cognitive development of infants with spina bifida. *Z Entwickl.Padagogi.* 41 :4, 181-188. doi : 10.1026/0049-8637.41.4.181.
- [15] Dahl, A., Campos, J. J., Anderson, D. I., Uchiyama, I., Witherington, D. C., Ueno, M., Lejeune, L., Barbu-Roth, M. (2013). The Epigenesis of Wariness of Heights. *Psychological Science*, 24(7) 1361-1367. DOI : 10.1177/0956797613476047
- [16] Foreman, N., Foreman, D., Cummings, A., Owens, S. (1990). Locomotion active choice and spatial memory in children. *J. Gen. Psychol.* 117, 354-355. doi : 10.1080/00221309.1990.9921139.
- [17] Foreman, N., Orencas, C., Nicholas, E., Morton, P. (1989). Spatial awareness in seven to 11 year old physical handicapped children in mainstream schools. *European Journal of Special Needs Education*, 4 :3, 171-179. doi : 10.1080/0885625890040302.
- [18] Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston : Houghton Mifflin.
- [19] Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston : Houghton Mifflin.
- [20] Horobin, K., Acredolo, L. P. (1986). The role of attentiveness, mobility history, and separation of hiding sites on Stage IV search behavior. *J. Exp. Child Psychol.* 41 :1, 114-127. doi 10.1016/0022-0965(86)90054-8.
- [21] F. Katona (1988). Developmental clinical neurology and neurohabilitation in the secondary prevention of pre- and perinatal injuries of the brain In P.M. Vietze, H.G. Vaughan Jr. (Eds.), *Early identification of infants with developmental disabilities*, Grune & Stratton, New York pp. 121-144
- [22] F. Katona (1989). Clinical neuro-developmental diagnosis and treatment. In P.R. Zelazo, R.G. Barr (Eds.), *Challenges to developmental paradigms*, Erlbaum, Hillsdale, pp. 167-187 In *Cerebral Palsy in Infancy and Early Childhood*, ed. R. C. Shepherd (Amsterdam : Elsevier), 199-223.
- [23] Kermoian, R., Campos, J. J. (1988). A facilitator of spatial cognitive development. *Child Dev.* 59 :4, 908-917. doi :10.2307/1130258.
- [24] Kershner, J. R. (1974). Relationship of motor development to visual-spatial cognitive growth. *J. Spec. Educ.* 8 :1, 91-102. doi : 10.1177/002246697400800114.
- [25] Kopp, C. (1979). "Perspectives on infant motor system development" In *Psychological Development from Infancy : Image to Intention*, eds M. H. Bornstein and W. Kessen (NJ : Erlbaum).
- [26] Mahler, M. S., Pine, F., and Bergman, A. (1975). *The Psychological Birth of the Human Infant : Symbiosis and Individuation*. New York : Basic Books.
- [27] Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. New York : International Universities Press.
- [28] Piaget, J. (1954). *The Construction of Reality in the Child*. New York : Basic Books.
- [29] Rivera, M. (2012). *Spatial cognition in infants with myelomeningocele : transition from immobility to mobility*. ProQuest, UMI Dissertations Publishing. 3553864.
- [30] K. Siekerman, M. Barbu-Roth, D. I. Anderson, A. Donnelly, F. Goffinet & C. Teulier (2015). Treadmill Stimulation Improves Newborn Stepping. *Developmental Psychobiology*. Doi 10.1002/dev.21270
- [31] Simms, B. (1987). The route learning ability of young people with spina bifida and hydrocephalus and their able-bodied peers. *Z. Kinderchir.* 42 : Suppl 1, 53-56.
- [32] Stanton, D., Wilson, P. N., Foreman, N. (2002). Effects of early mobility on shortcut performance in a simulated maze. *Behav. Brain Res.* 136 :1, 61-66. doi :10.1016/S0166-4328(02)00097-9.
- [33] C. Teulier, D. I. Anderson, M. Barbu-Roth. (2014). Treadmill training interventions for infants with physical disabilities, pp 273 ?287. In R. C. Shepherd (Ed.). *Cerebral palsy in infancy and early childhood*. Amsterdam : Elsevier.

- [34] Uchiyama, I., Anderson, D. I., Campos, J. J., Witherington, D., Frankel, C. B., Lejeune, L., Barbu-Roth, M. A. (2008). Locomotor experience affects self and emotion. *Dev. Psychol.* 44 :5, 1225-1231. doi :10.1037/a0013224.
- [35] Beverly D. Ulrich (2010). Opportunities for Early Intervention Based on Theory, Basic Neuroscience, and Clinical Science. *Phys Ther.* 2010 Dec ; 90(12) : 1868–1880. doi : 10.2522/ptj.20100040
- [36] Wiedenbauer, G., Jansen-Osmann, P. (2006). Spatial knowledge of children with spina bifida in a virtual large-scale space. *Brain Cognition* 62, 120–127. doi :10.1016/j.bandc.2006.04.003.
- [37] Walle, E. A. and Campos, J. J. (2014). Infant language development is related to the acquisition of walking. *Developmental Psychology*, 50 :2, 336-348. doi.10.1037/a0033238.
- [38] Yan, J. H., Thomas, J. R., Downing, J. H. (1998). Locomotion improves children's spatial search : A meta-analytic review. *Percept. Motor Skill* 87 :1, 67–82. doi :10.2466/pms.1998.87.1.67.

■



# Relations Emotion / mouvement volontaire chez le jeune enfant avec autisme

S. Vernazza-Martin<sup>1</sup>, S. Longuet<sup>2</sup>, M. J. Orève<sup>3</sup>

## Introduction

L'UN des axes plus centraux dans l'autisme concerne l'absence ou la pauvreté d'interactions entre l'enfant et son environnement par manque d'interaction socio-communicative et repli sur des activités répétitives. De façon précoce, chez l'enfant atteint d'autisme comme chez tout enfant, le mouvement constitue le moyen principal d'interaction avec l'environnement. Ainsi, le mouvement ne doit pas être considéré comme la simple exécution d'une séquence motrice mais comme un moyen volontaire d'interagir, généralement dans un but de récompense [9]. En ce sens, le mouvement fait appel à la motivation de réaliser un objectif particulier dans un contexte spécifique [18]. La motivation repose sur les émotions et une émotion se réfère à un état de préparation de l'action, qui est un état de motivation [7]. Une émotion priorise certains objectifs, mobilise l'énergie et dirige le comportement. Les émotions peuvent être considérées comme le principal système de motivation d'un comportement ciblé [7, 24].

## Organisation du mouvement et autisme

Le mouvement, considéré comme un comportement moteur ciblé pourrait donc être orienté et guidé par nos émotions. Mais l'organisation du mouvement dépend également de processus cognitifs, liés à des modèles internes et à des processus attentionnels qui permettent de le planifier : établir son objectif, engager de l'attention [36], estimer les résultats possibles, évaluer la faisabilité de de l'action [14, 35], choisir la stratégie d'action (trajectoire virtuelle du mouvement permettant la réalisation de l'objectif [2]) et prendre la décision d'agir. Le mouvement apparaît alors sur la base d'une instruction interne, i.e. une représentation du but à atteindre. Par la suite, ces processus cognitifs sélectionnent, déclenchent et modulent le ou les programmes moteurs responsables de la séquence motrice en tant que telle.

Ces derniers, selon Paillard [23], mettent en jeu des processus sensorimoteurs de plus bas niveau et bénéficient d'un contrôle en ligne qui peut moduler leur exécution selon les circonstances et les risques des conditions environnementales.

Dans le trouble du spectre de l'autisme, les processus cognitifs et sensorimoteurs seraient dysfonctionnels. En effet, certains auteurs soulignent une atteinte des processus attentionnels [5, 4, 10] ou un déficit des fonctions exécutives [13, 22, 27, 28]. Ainsi, les enfants atteints d'autisme montrent des difficultés à planifier le but et la trajectoire d'une action [32]. D'autres auteurs pointent davantage un dysfonctionnement des programmes moteurs engendrant des troubles de la coordination motrice et de l'anticipation posturale [15, 29, 17], des stéréotypies motrices [34, 25] ou encore des altérations de la posture et de la marche [33, 19, 16, 20, 21].

Par ailleurs des particularités du système émotionnel sont décrites dans l'autisme. Elles pourraient être à l'origine du retrait autistique, et de la difficulté à interagir avec l'environnement de manière adaptée émotionnellement [12, 1b, 26, 11, 3, 8].

## Émotions et mouvement : quel lien dans l'autisme ?

Si la littérature montre clairement un déficit des trois composantes fonctionnelles de l'organisation du mouvement volontaire dans l'autisme (émotions, processus cognitifs et sensorimoteurs), leurs liens réciproques n'ont pas été établis. Nous nous sommes donc intéressées à la relation qui peut exister entre un comportement moteur interactif et les émotions suscitées par ce comportement chez le jeune enfant avec autisme.

En effet, il nous semble fondamental non seulement pour le diagnostic, mais également pour la prise en charge, de déterminer si l'absence ou la rareté des comportements moteurs interactifs est associée à un déficit direct des processus cognitifs

1. EA 2931, UFR STAPS, Université Paris Ouest Nanterre La Défense

2. Ecole supérieure de biomécanique appliquée à l'ostéopathie, Cachan

3. EA 4047 Handiresp, Université Versailles Saint Quentin - Centre Hospitalier de Versailles

et / ou sensorimoteurs ou bien s'il s'agit davantage d'un dysfonctionnement du système émotionnel, qui bloquerait ou perturberait ces comportements. Nous avons pour cela choisi un comportement interactif simple qui consiste à aller chercher un objet plaisant ou déplaisant pour l'enfant placé sur un bureau à 5 m de distance.

## Méthode

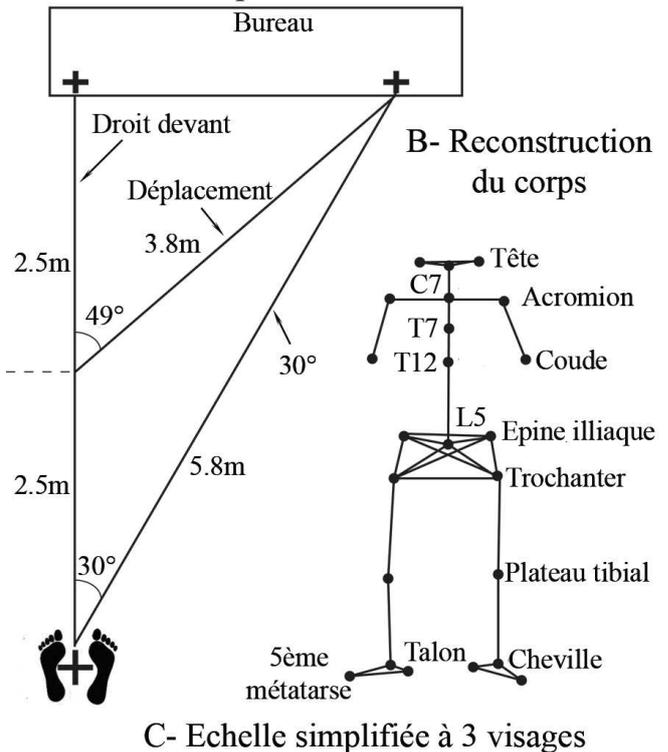
### Participants

Onze enfants avec autisme (âge moyen : 119 mois, 78-158 mois) ont participé à cette étude au Centre hospitalier Théophile Roussel (78). Ils ont été sélectionnés selon les critères de la CIM-10 avec un score total à la CARS [31] supérieur à 30 (en moyenne CARS :  $41,8 \pm 9$ ). Le PEP-R [30] a permis de déterminer l'âge de développement ( $36 \text{ mois} \pm 19$  en moyenne). Les critères d'exclusion concernaient le syndrome de Rett, d'Asperger, et les troubles de-sintégratifs de l'enfance. Ces 11 enfants ont été appariés à 9 enfants typiques de même âge chronologique (AC : âge moyen : 116 mois, 81-151 mois) et à 9 enfants typiques de même âge de développement (AD : âge moyen : 36 mois, 17-81 mois). Tous les enfants ont participé à l'étude avec le consentement de leurs parents, selon la déclaration d'Helsinki et l'approbation du comité d'éthique.

### Matériel et procédure expérimentale

Les participants, testés individuellement, devaient aller chercher un objet plaisant ou déplaisant situé sur un bureau à 5 m d'eux, droit devant, à  $30^\circ$  vers la droite ou initialement droit devant puis déplacé à mi-distance vers la droite par un expérimentateur situé derrière le bureau (Figure 1A). Leur position initiale était indiquée par une croix et l'instruction orale « va chercher... » était donnée par un expérimentateur inconnu de l'enfant afin d'éviter toute interférence émotionnelle non liée à la tâche. Les objets ont été sélectionnés par les enfants eux-mêmes pour les enfants typiques, et par la « référente » (personne prenant plus particulièrement l'enfant en charge à l'hôpital) pour les enfants atteints d'autisme, sur la base de l'échelle d'Andrews & Whitney [1] (Figure 1C).

### A- Procédure expérimentale



**Fig. 1** – A – Procédure expérimentale. Les croix sur le bureau représentent les deux emplacements d'objets possibles par rapport à la position initiale (croix entre les pieds). 3 trajectoires théoriques sont étudiées : tout droit, déviée de  $30^\circ$  vers la droite et tout droit, puis déplacée à mi-distance vers la droite. B – Reconstruction du corps à partir de l'emplacement des marqueurs Vicon. C – échelle simplifiée à trois visages d'Andrews et Whitney.

L'analyse de la locomotion a été réalisée avec le système d'analyse de mouvement VICON équipé de six caméras infrarouge et enregistrant 1 image toutes les 50 ms. Les enfants étaient équipés de 22 marqueurs rétro réfléchissants sphériques placés dans le dos (Figure 1B). Dix essais dans chaque condition expérimentale ont été proposés (objet plaisant et déplaisant dans les trois directions soit 60 essais au total). Les essais ont été randomisés afin de limiter un phénomène d'apprentissage et d'anticipation. À la fois pour des raisons techniques (sortie de l'enfant du champ des caméras) ou des refus d'exécuter la tâche le nombre d'essais enregistrés par condition varie selon les enfants de 3 à 10.

### Paramètres étudiés

Les processus cognitifs ont été étudiés à travers :

- L'atteinte du but de la tâche : pourcentage d'essais réussis (1 essai est réussi lorsque l'enfant attrape ou touche l'objet).
- La déviation moyenne (représentée en cm et en valeur absolue) entre la trajectoire réelle de l'enfant (trajectoire du sacrum [L5]) et la trajectoire la plus directe entre la position initiale de l'enfant et la position de l'objet. Ce paramètre a été calculé à l'aide du Root Mean Square Error (RMSE) [6].
- La distance (en cm et en valeur absolue) entre la position finale de l'enfant et l'objet selon l'axe antéropostérieur et latéral (position du sacrum [L5].)

Les processus sensorimoteurs ont été étudiés à travers les paramètres de la marche : amplitude, durée et vitesse moyenne de l'enjambée (paramètres calculés entre deux contacts de talon).

### Analyse statistique

Pour chaque paramètre exceptée la trajectoire, une analyse de variance à mesures répétées a testé l'effet du facteur **Groupe** (autiste/AC/AD), des facteurs **Valence** (plaisant/déplaisant) et **Direction** (droit/30°/déplacement). Concernant la trajectoire, la condition « déplacement » a été analysée indépendamment de l'analyse des deux autres conditions afin d'étudier, en cours d'exécution, l'adaptation des processus cognitifs qui planifient ce paramètre (analyse de la trajectoire après le déplacement). Les tests de Bonferroni ont été utilisés en tant que procédures de comparaisons multiples par paire et le niveau de signification a été fixé à  $p < 0,05$ .

## Résultats

### Essais réussis

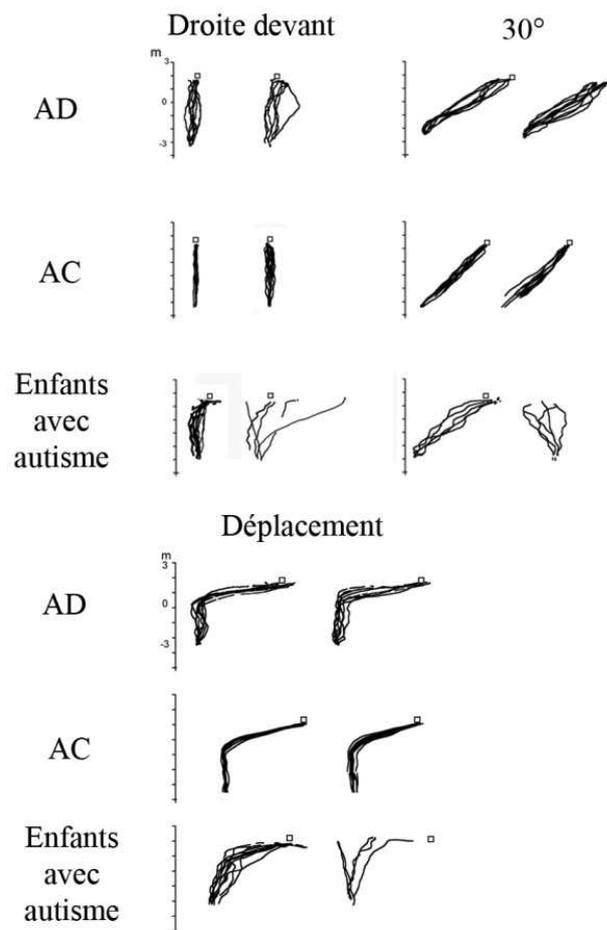
Tous les enfants typiques (AC et AD) ont systématiquement réussi la tâche (100%) quelle que soit la condition étudiée.

Les enfants avec autisme atteignent leur but aussi souvent que les deux groupes d'enfants typiques (différence non significative) pour un objet plaisant mais moins souvent en présence d'un objet déplaisant, quel que soit son emplacement ( $p < 0,01$ ). L'impact de la valence de l'objet apparaît forte chez les enfants avec autisme : l'objectif est moins souvent atteint avec un objet déplaisant qu'avec un objet plaisant ( $p < 0,001$ ) (Tableau 2).

### Trajectoire de la marche

On constate quatre comportements représentatifs : 1) les enfants refusent d'exécuter la tâche, 2) la locomotion est stoppée avant l'atteinte du but, 3) elle est déviée pour éviter l'objet, 4) une combinaison des deux peut également se produire (Figure 2).

Dans les conditions « droit devant » et « 30° », l'analyse de l'écart moyen entre la trajectoire la plus directe et la trajectoire réelle l'enfant montre principalement que les enfants avec autisme adoptent une trajectoire plus déviée lorsque l'objet est déplaisant que lorsque il est plaisant ( $p < 0,01$ ). Avec l'objet déplaisant, ces enfants adoptent également une trajectoire plus déviée que celle des enfants typiques (AD et AC,  $p < 0,01$ ). Dans la condition « déplacement », la trajectoire des enfants avec autisme est plus déviée que celle des enfants typique (AD et AC) que l'objet soit plaisant ou déplaisant ( $p < 0,001$ ). Leur déviation est également plus importante lorsque l'objet est déplaisant que lorsqu'il est plaisant ( $p < 0,001$ ) (Tableau 3).



**Fig. 2** – Superposition des trajectoires (sacrum-L5) de 2 enfants typiques représentatifs (AC, AD) et d'un enfant avec autisme qui n'atteint pas son objectif dans chaque condition expérimentale.

Enfant avec Autisme	Droit Devant		30°		Déplacement	
	P	D	P	D	P	D
S1	100	100	100	100	100	100
S2	80	0	100	0	100	0
S3	87.5	0	75	12.5	87.5	0
S4	100	100	100	100	100	100
S5	100	0	100	0	66.7	0
S6	100	80	100	100	100	100
S7	80	100	80	80	50	83.3
S8	100	100	100	100	100	100
S9	100	20	100	20	40	20
S10	100	16.7	83.3	0	100	0
S11	100	100	100	100	100	100
Moyenne	<b>95.2</b>	<b>56.1</b>	<b>94.4</b>	<b>55.7</b>	<b>85.8</b>	<b>54.8</b>
Ecart type	<b>8.4</b>	<b>47.4</b>	<b>9.8</b>	<b>47.8</b>	<b>22.7</b>	<b>49.2</b>
AC	100	100	100	100	100	100
AD	100	100	100	100	100	100

**TABLE 1** – Pourcentage d’essais réussis dans chaque condition. AC et AD : enfants typiques appariés respectivement en Age Chronologique et en Age de Développement. P : objet Plaisant ; D : objet Déplaisant.

Effets	% de réussite
<b>Groupe</b>	F (2,26) = 8,9, p < 0,01 $\eta^2$ = 0,41
<b>Valence</b>	F (2,26) = 5,4, p < 0,05 $\eta^2$ = 0,17
<b>Interaction Groupe / valence</b>	F (2,26) = 5,8 ; p < 0,01 $\eta^2$ = 0,31

**TABLE 2** – Résultats de l’analyse de variance sur le pourcentage de réussite dans les trois conditions expérimentales.

Effets	« Droit devant » et « 30° »	« Déplacement »
<b>Groupe</b>	F(2,23)=10.1 ; p<0.001, $\eta^2$ =0.47	F(2,17)=40.4 ; p<0.001, $\eta^2$ =0.83
<b>Valence</b>	F(1,23)=8.74 ; p<0.01, $\eta^2$ =0.28	F(1,17)=17.1 ; p<0.01, $\eta^2$ =0.5
<b>Interaction Groupe / valence</b>	F(2,23)=4.3 ; p<0.05, $\eta^2$ =0.27	F(2,17)=9.1 ; p<0.01, $\eta^2$ =0.52

**TABLE 3** – Résultats principaux de l’analyse de variance sur l’écart moyen entre la trajectoire la plus directe et la trajectoire réelle de l’enfant dans les conditions « droit devant » et « 30° » et dans la condition « déplacement ».

#### Distance entre l’objet et le corps (Figure 3)

Axe antéro-postérieur : les enfants avec autisme ont une distance par rapport à l’objet plus importante lorsque l’objet est déplaisant que lorsqu’il est plaisant, uniquement dans la condition « Droit devant ». Cette distance est également plus importante que celle des enfants typiques (AC et AD) quelle que soient les conditions (p < 0,01) (Tableau 4).

Axe latéral : Les enfants atteints d’autisme ne se placent pas face à l’objet mais en décalage (vers la droite ou la gauche) par rapport à celui-ci ; ce décalage augmente lorsque l’objet est déplaisant

(p < 0,01).

#### Paramètres de l’enjambée

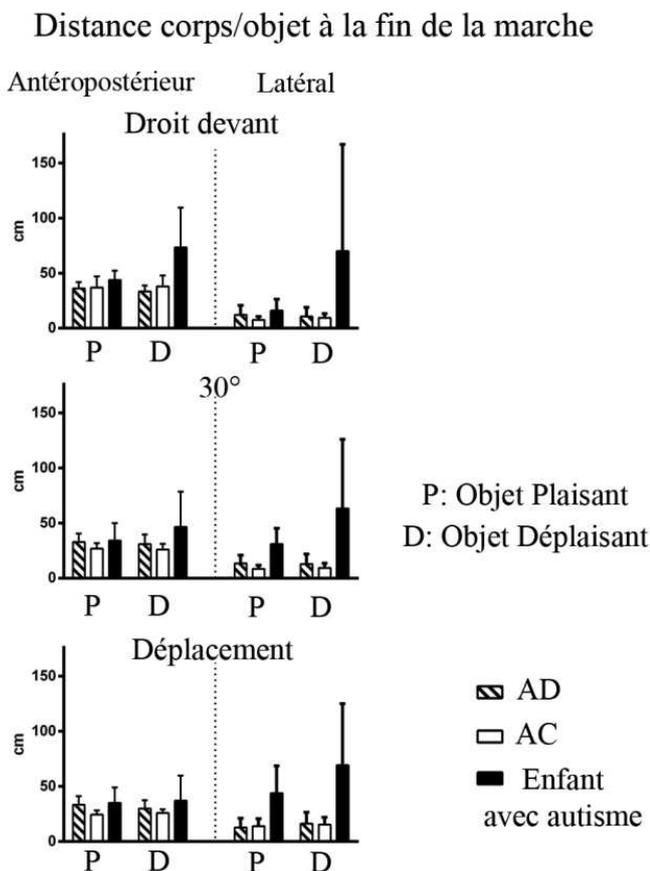
L’enjambée des enfants avec autisme (0.67 m en moyenne) est plus courte que celle des enfants typiques du même âge chronologique (AC : 0.86 m en moyenne, p < 0,001) et plus longue (0.99 s en moyenne) que celle des enfants typiques du même âge de développement (AD : 0.7 s en moyenne, p < 0,001). Leur vitesse moyenne est de ce fait plus lente (0.71 m/s en moyenne) que celle des enfants typiques (AC : 0.99 m/s en moyenne p < 0,01 ; AD : 1.1 m/s en moyenne p < 0,05) (Tableau 5).

Effets	Axe antéro-postérieur	Axe latéral
<b>Direction</b>	F(2,46)=28,17 ; p<0,001, $\eta p^2=0,55$	
<b>Groupe</b>	F(2,23)=4,73 ; p < 0,05, $\eta p^2=0,19$	F(2,23)=11,4 ; p<0,001, $\eta p^2=0,50$
<b>Valence (tendance)</b>	F(1,23)=4,15 ; p=0,053, $\eta p^2=0,15$	F(1,23)=3,2 ; p=0,085, $\eta p^2=0,12$
<b>Interaction Groupe / valence</b>	F(4,46)=2,91 ; p<0,05, $\eta p^2=0,33$	F(2,23)=3,13 ; p=0,062, $\eta p^2=0,21$

**TABLE 4** – Résultats de l'analyse de variance sur la distance corps/objet dans les trois conditions expérimentales selon l'axe antéro-postérieur et latéral.

	Effet du groupe
<b>Amplitude</b>	F(2,23)=14.6 ; p<0.001, $\eta p^2=0.56$
<b>Durée</b>	F(2,23)=14 ; p<0.001, $\eta p^2=0.55$
<b>Vitesse moyenne</b>	F(2,23)=8.5 ; p<0.01, $\eta p^2=0.43$ .

**TABLE 5** – Résultats de l'analyse de variance sur les paramètres locomoteurs dans les trois conditions expérimentales.



**Fig. 3** – Distance à l'objet dans toutes les conditions expérimentales selon les axes antéro-postérieur et l'axe latéral à l'arrêt de la locomotion. Cette valeur a été obtenue en mesurant la distance entre l'objet et la position finale du sacrum (L5) à la fin de la marche.

## Discussion

Nous nous sommes intéressées dans cette étude au lien qui peut exister entre un comportement moteur interactif et les émotions suscitées par ce com-

portement chez le jeune enfant avec autisme. Notre but était de déterminer si l'absence ou la rareté de ces comportements moteurs interactifs peut être associée à un déficit direct des processus cognitifs et/ou sensorimoteurs qui organisent le mouvement ou s'il s'agit davantage d'un dysfonctionnement du système émotionnel, qui bloque ou perturbe ces comportements.

Nos résultats montrent tout d'abord que les enfants avec autisme déclenchent leur locomotion, se dirigent correctement vers l'objet et le saisissent lorsque celui-ci est plaisant. Ceci indique que les processus cognitifs planifient correctement le but à atteindre et la trajectoire virtuelle à adopter. Ces enfants sont également capables de re-planifier leur mouvement en cours d'exécution (condition Déplacement) puisque leur pourcentage de réussite est similaire dans toutes les conditions expérimentales. Nous pouvons toutefois noter un léger déficit dans ces processus cognitifs engendrant une position finale du corps décalée vers la droite ou vers la gauche par rapport aux enfants typiques ainsi qu'une trajectoire plus déviée lorsque l'objet change de position en cours de mouvement, ceci quelle que soit la valence de l'objet. Ce déficit n'est cependant pas suffisant pour empêcher les processus cognitifs d'être fonctionnels et efficaces.

Concernant les processus sensorimoteurs responsables des programmes moteurs (paramètres de la marche), nos résultats montrent deux points principaux. Le premier est qu'il n'y a pas d'effet de la Valence associée à l'objet. Les programmes moteurs largement dépendant de processus de « bas niveau »

et automatique, seraient donc indépendant des émotions. Le second point (qui se retrouve dans la littérature) est que les enfants atteints d'autisme ont une vitesse moyenne de marche plus lente que les enfants typiques, ceci étant lié soit à des pas plus courts par rapport aux enfants de même âge chronologique soit à des pas d'une durée plus longue comparée à celle des enfants de même âge de développement. Il y aurait donc un léger déficit dans le contrôle précis du programme locomoteur plutôt qu'une perturbation du programme de moteur lui-même.

La principale difficulté rencontrée chez les enfants avec autisme concerne la gestion des émotions négatives. Ceci a comme principal effet de bloquer ou de fortement perturber les processus cognitifs qui planifient le but de l'action et la trajectoire virtuelle à adopter. Une forte diminution du pourcentage de réussite apparaît alors, liée à un refus d'exécuter la tâche ou à une forte déviation de la trajectoire qui peut, qui plus est, être stoppée avant l'atteinte son objectif (distance corps/objet). Les émotions seraient donc capables de contrôler le déclenchement et le bon fonctionnement des processus cognitifs organisateurs de l'action. Une émotion positive favoriserait l'organisation d'un mouvement à visée interactive tandis qu'une émotion négative la bloquerait ou la perturberait.

Ces constatations conduisent à considérer davantage la part affectivo-motivationnelle (approche vers un stimulus agréable ou évitement d'un stimulus désagréable), dans la compréhension des particularités comportementales et les modalités de prise en charge des enfants avec autisme. Cet aspect pourrait d'un côté venir éclairer certains comportements non adaptés en situation aversive et de l'autre appuyer l'importance donnée au climat affectivo-relational positif dans l'interaction thérapeutique avec ces enfants.

### Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier la Fondation de France pour son soutien financier et le personnel du Centre Hospitalier Théophile Roussel pour son investissement et sa participation à l'étude.

## Références

- [1] Andrews, M. F., Whitney, B.S. (1976), *Social indicators of well-being : the development of and measurement of perceptual indicators*, New York : Plenum Press.
- [1b] Baron-Cohen S (1991) Do people with autism understand what causes emotion ? *Child Dev* 62 :385-395.
- [2] Bernstein N (1984) The problem of the interrelation of coordination and localization. In : *Human motor actions Bernstein reassessed*(Whiting, H. T. A., ed), pp 77-119 Amsterdam : Elsevier / north-Holland.
- [3] Berthoz S, Hill EL (2005) The validity of using self-reports to assess emotion regulation abilities in adults with autism spectrum disorder. *Eur Psychiatry* 20 :291-298.
- [4] Boraston ZL, Corden B, Miles LK, Skuse DH, Blakemore SJ (2008) Brief report : perception of genuine and posed smiles by individuals with autism. *J Autism Dev Disord* 38 :574-580.
- [5] Dalton KM, Nacewicz BM, Alexander AL, Davidson RJ (2007) Gaze-fixation, brain activation, and amygdala volume in unaffected siblings of individuals with autism. *Biol Psychiatry* 61 :512-520.
- [6] Ferrel C, Bard C, Fleury M (2001) Coordination in childhood : modifications of visuomotor representations in 6- to 11-year-old children. *Exp Brain Res* 138 :313-321.
- [7] Frijda NH (2006) *The laws of emotion*. : Mawwah, NJ :Erlbaum.
- [8] Gaigg SB (2012) The Interplay between Emotion and Cognition in Autism Spectrum Disorder : Implications for Developmental Theory. *Frontiers in integrative neuroscience* 6 :113.
- [9] Haggard P (2005) Conscious intention and motor cognition. *Trends Cogn Sci* 9 :290-295.
- [10] Hernandez N, Metzger A, Magne R, Bonnet-Brilhault F, Roux S, Barthelemy C, Martineau J (2009) Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia* 47 :1004-1012.
- [11] Hill E, Berthoz S, Frith U (2004) Brief report : cognitive processing of own emotions in individuals with autistic spectrum disorder and in their relatives. *J Autism Dev Disord* 34 :229-235.
- [12] Hobson RP (1986) The autistic child's appraisal of expressions of emotion. *J Child Psychol Psychiatry* 27 :321-342.
- [13] Hugues C (1994) L'autisme, cinquante années après Kanner. In : *Théories cognitives de l'autisme*(Aussilloux, C. and Livois-Petersen, M. F., eds), pp 33-42 Ramonville Erès.
- [14] Jeannerod M (1994) The representing brain : Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences* 17 :187-202.
- [15] Kanner L (1943) Autistic disturbances of affective contact. Reprint (1968) *Acta Paedopsychiatr* 35 :100-136.
- [16] Kohen-Raz R, Volkmar FR, Cohen DJ (1992) Postural control in children with autism. *J Autism Dev Disord* 22 :419-432.
- [17] Martineau J, Schmitz C, Assaiante C, Blanc R, Barthelemy C (2004) Impairment of a cortical event-related desynchronisation during a bimanual load-lifting task in children with autistic disorder. *Neurosci Lett* 367 :298-303.
- [18] Massion J (1997) *Cerveau et motricité. Fonctions sensori-motrices*. Presses Universitaire de France, Paris.
- [19] Maurer RG, Damasio AR (1982) Childhood autism from the point of view of behavioral neurology. *J Autism Dev Disord* 12 :195-205.

- [20] Minschew NJ, Sung K, Jones BL, Furman JM (2004) Underdevelopment of the postural control system in autism. *Neurology* 63 :2056-2061.
- [21] Nobile M, Perego P, Piccinini L, Mani E, Rossi A, Bellina M, Molteni M (2011) Further evidence of complex motor dysfunction in drug naive children with autism using automatic motion analysis of gait. *Autism : the international journal of research and practice* 15 :263-283.
- [22] Ozonoff S (1995) Executive functions in autism. In : *Learning and Cognition in Autism* (Schopler, E. and Mesibov, G.); 199-219, New York : Plenum Press, 10.1007/978-1-4899-1286-2\_11.
- [23] Paillard J (1985) Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action. In : *Recherches en Activités Physiques et Sportives*, Publication du Centre de Recherches de l'UEREPS, Université Aix-Marseille II (Laurent, M. and Therme, P., eds), pp 147-163.
- [24] Pfister HR, Böhm G (2008) The multiplicity of emotions : A framework of emotional functions in decision making. *Judgment and Decision Making* 3 :5-17.
- [25] Reid G, O'Connor J, Lloyd M (2003) The autism spectrum disorders : Physical activity instruction- Part 3. *Palaestra* 19 :20-26,47-48.
- [26] Rieffe C, Meerum Terwogt M, Stockmann L (2000) Understanding atypical emotions among children with autism. *J Autism Dev Disord* 30 :195-203.
- [27] Russell J (1997) *Autism as an executive disorder*. Oxford University Press, Oxford.
- [28] Russell J, Hill EL (2001) Action-monitoring and intention reporting in children with autism. *J Child Psychol Psychiatry* 42 :317-328.
- [29] Schmitz C, Martineau J, Barthelemy C, Assaiante C (2003) Motor control and children with autism : deficit of anticipatory function ? *Neurosci Lett* 348 :17-20.
- [30] Schopler E, Reichler RJ (1988) *Le profil psycho-Educatif*. Paris.
- [31] Schopler E, Reichler RJ, DeVellis RF, Daly K (1980) Toward objective classification of childhood autism : Childhood Autism Rating Scale (CARS). *J Autism Dev Disord* 10 :91-103.
- [32] Vernazza-Martin S, Martin N, Vernazza A, Lepellec-Muller A, Rufo M, Massion J, Assaiante C (2005) Goal directed locomotion and balance control in autistic children. *J Autism Dev Disord* 35 :91-102.
- [33] Vilensky JA, Damasio AR, Maurer RG (1981) Gait disturbances in patients with autistic behavior : a preliminary study. *Arch Neurol* 38 :646-649.
- [34] Wicks-Nelson RW, Israel AC (2000) *Behaviour disorders of Children* (4th edition).
- [35] Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI (1995) An internal model for sensorimotor integration. *Science* 269 :1880-1882.
- [36] Wulf G (2007) *Attention and motor skill learning*. Champaign, IL : Human Kinetics.

■



# Le développement sensorimoteur : Une étape fondatrice dans le développement cognitif de l'enfant

*Christine Assaiante*<sup>1</sup>

## Introduction

**P**OUR percevoir et agir dans son environnement, les caractéristiques du corps de l'enfant ainsi que ses interactions avec son milieu sont représentés dans le cerveau. Les liens précoces qu'établit l'enfant entre ce qu'il perçoit et ce qu'il fait ou que d'autres individus font, contribuent grandement au développement sensorimoteur. Le développement sensorimoteur assure le dialogue entre l'individu et son milieu physique et social dès la naissance, grâce au couplage précoce perception-action. Les apprentissages sensorimoteurs intègrent très tôt les fonctions exécutives telles que l'anticipation, la prise de décision, la mémoire de travail, la flexibilité, afin de produire une action motivée et tournée vers l'exploration de son environnement. Il est bien évident que les représentations sensorimotrices doivent d'une part se construire au cours de l'ontogenèse, et d'autre part conserver un pouvoir adaptatif tout au long de la vie. Ainsi, comprendre ces mécanismes de flexibilité au cours de l'enfance, grâce à l'acquisition de nouvelles habiletés et compétences via les apprentissages, revêt un caractère fondamental de première importance à la fois pour le développement typique et les pathologies neurodéveloppementales.

## Couplage précoce perception-action

Selon les théories actuelles de la cognition motrice, le couplage perception-action est un processus fondamental qui permet la correspondance entre la perception d'une action, ses représentations sensorimotrices et sa réalisation, par l'activation de régions cérébrales comme le système des neurones miroirs [41, 20]. Plus précisément, la théorie du couplage perception-action fait l'hypothèse de mécanismes centraux pour attester d'un lien fonctionnel entre les représentations sensorielles sollicitées lors

de la perception d'une action et les représentations motrices utilisée lors de la planification de l'action [15, 42]. Ainsi, ce couplage se trouve à la base de l'imitation et des apprentissages sensorimoteurs qui jalonnent les différentes étapes de la vie [6, 7] autant qu'il permet de comprendre les actions réalisées par autrui [11, 12]. Une épreuve de catégorisation utilisée dans une étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) chez l'adulte [11] a permis de mettre en évidence l'activation concomitante du réseau de la mentalisation et du mécanisme miroir lors de l'observation de scènes d'interactions sociales. Cette étude témoigne ainsi de la dimension sociale du mécanisme miroir qui sous-tend la compréhension d'une intention sociale uniquement à partir de la cinématique corporelle. En d'autres termes, le développement sensorimoteur reflète, dès le plus jeune âge, tous les aspects du développement cognitif, depuis la motivation de l'enfant à explorer son environnement physique et social, jusqu'à l'aptitude à résoudre des problèmes de choix et de prise de décision, en liaison avec des contraintes corporelles changeantes et des possibilités motrices chaque jour grandissantes [1, 50].

## Importance de la Perception du Mouvement Humain (MH)

La perception du mouvement biologique (MB) est une capacité innée, mise en évidence chez le nourrisson [46]. Les auteurs ont montré que les nouveaux-nés passaient plus de temps à regarder le MB à l'envers que le MB à l'endroit. Fox et McDaniel [19] ont rapporté que les nourrissons de quatre mois fixent davantage le Mouvement Humain (MH) que des mouvements aléatoires. Si la sensibilité au MB est innée, la perception et la reconnaissance visuelle du MH doivent néanmoins nécessiter des représentations sensorimotrices, élaborées au cours de la vie, pour permettre une identification fine des ca-

1. Laboratoire de Neurosciences Cognitives (UMR 7291), Fédération de Recherche 3C, CNRS, Aix-Marseille Université

ractéristiques des actions perçues [6]. De plus, il est pertinent de rapporter que la reconnaissance des mouvements humains est meilleure lorsque les mouvements respectent les lois de la biomécanique du corps [31], ou encore que les activités visualisées par le sujet font partie de son répertoire moteur [10].

Autrement dit, le sujet semble mieux percevoir les activités motrices qu'il sait faire. Néanmoins, l'apport des seules informations visuelles reste majeur car il a été rapporté que des enfants à partir de 7 ans ont déjà la capacité de discriminer avec succès des MH réalisés en microgravité ou en normogravité [7].

De plus, les adolescents, comme les adultes, se révèlent très performants pour catégoriser avec succès les MH réalisés en normo ou en microgravité, sans avoir jamais eu, eux-mêmes, d'expérience sensorimotrice liée à la microgravité. Cette robustesse de la perception du MH au cours de l'adolescence est vraisemblablement à relier à la précocité de cette habileté perceptive acquise très tôt au cours du développement [46]. De plus, cette habileté ne semble pas être altérée par les modifications du schéma corporel subies au cours de l'adolescence [14].

Le modèle minimaliste de Johansson de points lumineux en mouvement [32] a également été utilisé par Centelles et collaborateurs [11, 12] pour isoler les indices sociaux issus de la cinématique du corps. Les animations illustrant deux acteurs engagés ou non dans une interaction sociale ont été proposées aux participants, parmi lesquels des enfants avec TSA. Les résultats soulignent les compétences des enfants avec TSA à extraire de l'information sociale à partir de mouvements corporels bien qu'ils soient moins performants que des enfants de développement typique appariés. Cette différence ne s'explique ni par un déficit du traitement configural, ni par leur niveau intellectuel, ni même par les aspects émotionnels des scènes observées. L'hypothèse privilégiée est celle d'un déficit dans la construction des représentations sensorimotrices qui affecterait la construction des représentations sociales de l'action.

### **Nécessité d'un contrôle prédictif et représentations internes de l'action**

Les actions sont dirigées vers le futur et leur contrôle est basé sur l'anticipation de ce qui va se produire. En effet, la réalisation efficace d'une action implique la prédiction de ses conséquences afin que la perturbation naturellement engendrée par l'ac-

tion ne mette pas en péril l'équilibre de l'ensemble du corps ou encore permette une correction en cours d'exécution. Le contrôle prédictif est possible parce que les événements dans l'environnement sont gouvernés par des règles et des régularités que l'enfant va apprendre à connaître et à intégrer dans son contrôle anticipé de l'action. Ces règles s'appliquent à :

- 1) l'environnement physique (intégration des règles d'inertie ou de gravité),
- 2) son propre corps (construction du schéma corporel) ou encore
- 3) aux interactions sociales (intégration des règles sociales).

Cette prédiction repose sur l'activation de modèles internes de l'action, qui sont essentiels pour interagir avec notre environnement physique et social. Dans le domaine du contrôle moteur, il est communément admis que le cerveau programme une commande motrice pour atteindre un objectif. Selon la théorie des modèles internes [38, 52], la première étape de la réalisation d'un mouvement se déroule de façon inverse. Le modèle interne inverse est donc un module qui produit une commande nerveuse à destination des effecteurs, uniquement à partir de l'intention de l'action. Le modèle interne prédictif, quant à lui, simule de façon anticipée les conséquences sensorimotrices de la commande motrice en accord avec le contexte spécifique de la tâche. Les preuves expérimentales en faveur de l'existence des modèles internes prédictifs dans le contrôle moteur sont nombreuses chez l'adulte [38, 17, 18] et également chez l'enfant [43, 44, 13, 7].

Comme le système moteur subit de nombreux changements au cours de la vie (développement, vieillissement, pathologies, adaptation aux milieux extrêmes...), les modèles internes doivent nécessairement être adaptables. Au cours du développement, les représentations de l'action se construisent sur la base des informations sensorimotrices que renvoie le corps en action et sont intimement liées au développement de la fonction d'anticipation [6, 7]. En fait, les jeunes enfants présentent, très tôt après l'acquisition de nouvelles habiletés motrices, les ajustements posturaux anticipés (APA) qui y sont associés, même si la forme est encore immature. Ces faits sont rapportés aussi bien dans des tâches posturales impliquant l'ensemble du corps [25, 24, 28, 3] que dans des tâches bimanuelles impliquant la seule stabilisation de l'avant bras chargé d'un poids à délester

[43, 44]. Dans le cas des enfants avec TSA, Schmitz et collaborateurs [45] ont rapporté un déficit de la fonction d'anticipation posturale lors de la tâche bimanuelle de délestage. Il est intéressant de souligner que le mode de contrôle rétroactif substitué au contrôle proactif par les enfants avec TSA, assure, néanmoins, le maintien des performances de stabilisation de l'avant-bras postural, au prix d'un ralentissement du geste. Savoir si cette atteinte de la fonction d'anticipation, d'origine centrale, comme l'atteste l'absence de désynchronisation liée à l'événement [37], résulte d'une altération de la construction des représentations internes ou bien des processus de sélection reste, encore aujourd'hui, une question à élucider. Si les APA sont précoces, leur maturation perdure néanmoins jusqu'à des âges avancés de l'enfance et de l'adolescence, précisément, à cause d'une lente construction des représentations internes de l'action [8]. De plus, la réactualisation des représentations internes de l'action, qui sous-tend l'efficacité de l'anticipation est un processus qui mature également lentement au cours de l'enfance [5, 13] et semble être affecté chez les enfants avec TSA [45].

### **Contrôle postural et repondération sensorielle au cours de l'ontogénèse**

Le contrôle postural constitue un prérequis à l'expression d'une motricité harmonieuse et efficace. Un contrôle postural efficace est assuré par l'intégration des différentes informations sensorielles disponibles. Chaque système sensoriel a un seuil d'activation et une sensibilité spécifique. Cependant, il n'existe pas de hiérarchie sensorielle pour le maintien de l'orientation et de la stabilisation posturale. La sélection et la pondération physiologique s'opèrent en fonction du contexte et de la période développementale de chaque individu [2]. Ainsi, l'enfant et l'adolescent comme l'adulte utilisent les informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives au service du contrôle postural, mais leurs contributions respectives varient au cours de l'ontogénèse. Lee et Aronson [35] ont été parmi les premiers à démontrer l'importance des informations visuelles dans le contrôle postural du jeune enfant. En effet, à l'aide de leur dispositif expérimental de la chambre mobile, ils ont pu créer un conflit sensoriel où seules les informations issues du flux visuel généré par le mouvement lent des parois de la pièce, induisaient une correction posturale asservie au sens de déplacement de la pièce, alors même que les informations vestibulaires et proprioceptives indiquaient une ab-

sence de mouvement. Cette forte influence de la vision sur la motricité a également été rapportée dès 1960 par Eleanore Gibson [22], qui grâce au dispositif de la falaise visuelle, a pu montrer qu'une simulation de profondeur stoppe net le déplacement à quatre pattes ou bipède de l'enfant alors même que les informations tactiles lui révèlent le caractère rigide du support sur lequel il s'est engagé. De nombreuses études ultérieures sur le protocole de la falaise visuelle ont rapporté que cet arrêt visuel peut être modulé par la maîtrise du déplacement de l'enfant mais également par les signaux sociaux (encouragements ou mises en garde) dont bénéficient le jeune enfant [1]. Lorsque les informations visuelles sont en conflit avec les informations somatosensorielles, les enfants attribuent moins de poids à ces dernières pour contrôler leur posture, à la différence des adultes [47]. En effet, Vaugoyeau et collaborateurs [47b] ont montré à l'aide d'un protocole d'oscillations lentes que les informations proprioceptives, à elles seules, sont suffisantes pour maintenir l'orientation verticale chez les adultes. Ce n'est pas le cas pour les adolescents de 14-15 ans, qui négligent transitoirement les informations proprioceptives au profit d'une sur-utilisation des informations visuelles pour contrôler l'orientation et la stabilisation posturale [49, 36]. Ainsi, les adolescents semblent utiliser de façon moindre les informations proprioceptives et davantage les informations visuelles pour contrôler leur posture globale ou segmentaire. Le contrôle sensoriel de la posture a également été étudié chez les personnes avec TSA. Il ressort une repondération sensorielle différente des neurotypiques lorsqu'une information sensorielle est supprimée ou modifiée, ainsi qu'une utilisation accrue de la vision (voir pour revue, [21], même volume).

### **Schéma corporel et intégration proprioceptive**

Le schéma corporel constitue une représentation interne de la géométrie du corps, de sa dynamique et de son orientation par rapport à la verticale, aux segments entre eux ou à l'environnement [29]. Du point de vue neurobiologique, le schéma corporel présente une organisation supramodale, se nourrissant des afférences en provenance des modalités sensorielles proprioceptive, tactile, vestibulaire et visuelle. Plus, précisément, ces afférences donnent lieu à des représentations internes primaires du corps dans l'espace qui sont ensuite assemblées en une représentation résultante unique, rendue plus cohérente du fait

de la fusion des informations sensorielles [34, 26]. Parmi ces modalités sensorielles, il a néanmoins été montré que la proprioception (ou perception de son corps) en renseignant directement sur la position et la dynamique des segments corporels est la modalité la plus importante dans l'élaboration du schéma corporel [39]. La proprioception résulte d'une intégration de différentes informations provenant des récepteurs articulaires et musculaires situés sur l'ensemble du corps. Différentes études développementales révèlent une acuité proprioceptive qui mûrit tardivement au cours de l'enfance et de l'adolescence, tant au niveau de la précision qu'au niveau de la variabilité de la performance [23]. En manipulant les informations proprioceptives, grâce au protocole des vibrations tendineuses, nous avons pu mettre en évidence des différences notables entre adolescents et jeunes adultes tant sur le plan postural que perceptif, ce qui confirme une maturation tardive de l'intégration proprioceptive au service du contrôle postural [14]. D'autres études chez l'adolescent ont rapporté une négligence transitoire des informations proprioceptives [49, 36] au profit d'une prédominance des informations visuelles pour préserver le contrôle postural. Les liens entre proprioception et schéma corporel sont abondants dans la littérature scientifique, notamment au cours de la période de l'adolescence, caractérisée par un corps et un cerveau qui se transforment. En effet, une désorganisation du schéma corporel a été rapportée chez des adolescents après avoir subi une élongation des membres inférieurs [16]. De plus, les patients souffrant de neuropathie sensorielle ou de myopathie de Duchenne, présentant un fonctionnement proprioceptif inexistant ou altéré, voient leur schéma corporel détérioré si bien qu'il leur est difficile de réaliser adéquatement des activités motrices complexes nécessitant une représentation fine des relations spatiales entre segments [9, 33].

## Conclusion

Pour conclure, il est important de retenir que le développement sensorimoteur assure le dialogue entre l'individu et son milieu physique et social dès la naissance, grâce au couplage précoce perception-action. Bien que la motricité dans les TSA reste, encore aujourd'hui, un domaine à largement explorer, le développement sensorimoteur est décrit comme atypique dans les TSA [40, 48]. L'altération qualitative et quantitative des interactions sociales, qui caractérise les personnes avec TSA, qu'elles soient ob-

servées ou expérimentées, limite l'enrichissement de leur répertoire moteur et social et pourrait constituer un frein à la construction des représentations de l'action [45]. A ce propos, différentes études apportent la preuve d'une altération des modèles internes de l'action chez des personnes avec TSA [27, 30, 37, 45]. Si le couplage n'est pas fonctionnel entre l'observation d'une action et sa réalisation, les représentations de l'action ne peuvent se construire pleinement, limitant de fait l'efficacité du mécanisme miroir (voir pour revue [51]). Ainsi, comprendre la construction des représentations internes de l'action, dans un corps et un cerveau, qui tous deux se transforment, revêt un caractère fondamental de première importance à la fois pour le développement typique et les pathologies neurodéveloppementales.

## Références

- [1] Adolph, K., Tamis-Lemonda, C., Karasik, L. (2010) Cinderella indeed- a commentary on Inverso's developing language in a developing body : the relationship between motor development and language development. *J. Child Lang.* 37, 269-273.
- [2] Assaiante, C. & Amblard, B. (1995) An Ontogenic Model for the Sensorimotor Organization of Balance Control in Humans. *Human Movement Science* 14, 13-43.
- [3] Assaiante, C.; Woollacott, M.; Amblard, B. (2000) The development of postural anticipatory adjustments during initiation of gait : Kinematic and EMG Analysis. *Journal of Motor Behavior*, Vol 32, No 3, 211-226.
- [4] Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M. Schmitz, C. (2005) Development of postural control during childhood. *Neural Plasticity*, Volume 12, N° 1-2, 33-42.
- [5] Assaiante, C. (2011) Action et représentation de l'action au cours de l'enfance et de l'adolescence : une approche fonctionnelle. *Science & Motricité* 74, 65-79.
- [6] Assaiante, C. (2012) Action and representation of action during childhood and adolescence : a functional approach. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, *Neurophysiol Clin* 42(1-2) :43-51.
- [7] Assaiante, C., Barlaam, F., Cignetti, F., Vaugoyeau M. (2014) Building of body schema during childhood and adolescence : a neurosensory approach. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, (2014) 44, 3-12.
- [8] Barlaam, F., Fortin, C., Schmitz, C., Assaiante, C. (2012) Development of action representation during adolescence as assessed from anticipatory control in a bimanual load-lifting task. *Neuroscience*, 2012 Sep 27 ;221C :56-68.
- [9] Blouin J, Bard C, Teasdale N, Paillard J, Fleury M, Forget R (1993) Reference systems for coding spatial information in normal subjects and a deafferented patient. *Exp Brain Res* 1993 ; 93(2) :324-331.

- [10] Casile, A. and Giese, M.A. (2006). Non visual motor training influences biological motion perception. *Current Biology*, 16 : 69-74.
- [11] Centelles, L., Assaiante, C., Nazarian, B., Anton, J.L., Schmitz, C. (2011). Recruitment of Both the Mirror and the Mentalizing Networks When Observing Social Interactions Depicted by Point-Lights : A Neuroimaging Study. *Plos One*, 6
- [12] Centelles, L., Assaiante, C., Etchegoyhen, K., Bouvard, M., Schmitz, C. (2012) From Action to Interaction : Exploring the Contribution of Body Motion Cues to Social Understanding in Typical Development and in Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord*, DOI 10.1007/s10803-012-1655-0.
- [13] Cignetti, F., Chabeauti, P-Y., Sveistrup, H., Vaugoyeau, M., Assaiante, C. (2013a) Updating process of internal model of action as assessed from motor and postural strategies in children. *Neuroscience* 2013 ;233 :127-38.
- [14] Cignetti, F., Caudron, S., Vaugoyeau, M., Assaiante, C. (2013b) Body schema disturbance in adolescence : from proprioceptive integration to the perception of human movement. *Journal of Motor Learning and Development* 2013 ; 1 : 49-58.
- [15] Decety, J. and Grezes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in Cognitive Sciences*, 3 : 172-178.
- [16] Dominici, N., Daprati, E., Nico, D., Cappellini, G., Ivanenko, Y.P., Lacquaniti, F. (2009). Changes in the limb kinematics and walking-distance estimation after shank elongation : evidence for a locomotor body schema ? *J. Neurophysiol*, 101, 1419-1429.
- [17] Flanagan, J.R., Tresilian, J., Wing, A.M. (1993). Coupling of Grip Force and Load Force During Arm Movements with Grasped Objects. *Neuroscience Letters*, 152 : 53-56.
- [18] Flanagan, J.R. and Wing, A.M. (1997). The role of internal models in motion planning and control : Evidence from grip force adjustments during movements of hand-held loads. *Journal of Neuroscience*, 17 : 1519-1528.
- [19] Fox R, McDaniel C. The perception of biological motion by human infants. *Science* 1982 ; 218(4571) :486-487.
- [20] Gallese, V. and Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2 : 493-501.
- [21] Gallot, C., Bestaven, E., Guillaud, E., Cazalets, J.R., Bouvard, E., Amestoy, A. (2015). Le contrôle postural et la locomotion des adolescents et adultes avec TSA, ce volume.
- [22] Gibson, E.J., Walk, R.D. (1960) The visual cliff. *Sci. Amer*, 202 (4), 64-71.
- [23] Goble, D. J., Lewis, C. A., Hurvitz, E. A., Brown, S. H. (2005). Development of upper limb proprioceptive accuracy in children and adolescents. *Human Movement Science*, 24(2) :155-70.
- [24] Grasso R, Assaiante C, Prevost P, Berthoz A. Development of anticipatory orienting strategies during locomotor tasks in children. *Neurosci Biobehav Rev* 1998 ; 22(4) :533-539.
- [25] Haas G, Diener HC, Rapp H, Dichgans J. Development of feedback and feedforward control of upright stance. *Dev Med Child Neurol* 1989 ; 31(4) :481-488.
- [26] Haggard P, Wolpert DM. (2005) Disorders of body scheme. In : Freund HJ, Jeannerod M, Hallett M, editors. *Higher-order motor disorders : From neuroanatomy and neurobiology to clinical neurology*. New York : Oxford University Press.
- [27] Haswell CC, Izawa J, Dowell LR, Mostofsky SH, Shadmehr R (2009) Representation of internal models of action in the autistic brain. *Nat Neurosci* 12(8) :970-2.
- [28] Hay L, Redon C. Feedforward versus feedback control in children and adults subjected to a postural disturbance. *Exp Brain Res* 1999 ; 125(2) :153-162
- [29] Head, H., Holmes, H.G. (1911) Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain*, 34 :102-254.
- [30] Izawa J, Pekny SE, Marko MK, Haswell CC, Shadmehr R, Mostofsky SH (2012) Motor Learning Relies on Integrated Sensory Inputs in ADHD, but Over-Selectively on Proprioception in Autism Spectrum Conditions. *Autism Res* doi : 10.1002/aur.1222.
- [31] Jacobs, A., Pinto, J., & Shiffrar, M. (2004). Experience, context, and the visual perception of human movement. *Journal of Experimental Psychology :Human Perception and Performance*, 30,822–835.
- [32] Johansson G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 201-211.
- [33] Jover M, Schmitz C, Bosdure E, Chabrol B, Assaiante C. (2006) Anticipatory postural adjustments in a bimanual load-lifting task in children with Duchenne muscular dystrophy. *Neurosci Lett* 2006 ; 403(3) :271-275.
- [34] Lackner JR. Some proprioceptive influences on the perceptual representation of body shape and orientation. *Brain* 1988 ; 111 ( Pt 2) :281-297.
- [35] Lee, D., Aronson, E. (1974) Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Percept. Psychophys*, 15, 529-532.
- [36] Mallau, S., Vaugoyeau, M., Assaiante, C. (2010). Postural strategies and sensory integration : no turning point between childhood and adolescence. *PLoS One*, 5(9) :e13078.
- [37] Martineau J, Schmitz C, Assaiante C, Blanc R, Barthélémy C (2004) Impairment of a cortical event-related desynchronisation during a bimanual load-lifting task in children with autistic disorder. *Neurosci Lett* 367(3) :298-303.
- [38] Miall, R.C. and Wolpert, D.M. (1996). Forward models for physiological motor control. *Neural Networks*, 9 : 1265-1279.
- [39] Paillard, J. (1982). Le corps et ses langages d'espace : Nouvelles contributions psychophysiologiques à l'étude du schéma corporel In : 7. Jeddi eds., *Le corps en Psychiatrie*, Masson, Paris. pp. 53-69.
- [40] Provost, B., Lopez, B. R., Heimerl, S. (2007) A Comparison of Motor Delays in Young Children : Autism Spectrum Disorder, Developmental Delay, and Developmental Concerns. *Journal of Autism and Developmental Disorders* 2007 ; 37(2) : 321-8.

- [41] Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res. Cogn Brain Res.*, 3 : 131-141.
- [42] Rizzolatti G, Craighero L. (2004) The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci* 2004 ; 27 :169-192.
- [43] Schmitz, C., Martin, N., Assaiante, C. (1999). Development of anticipatory postural adjustments in a bimanual load-lifting task in children. *Experimental Brain Research*, 126 : 200-204.
- [44] Schmitz, C., Martin, N., Assaiante, C. (2002). Building anticipatory postural adjustment during childhood : a kinematic and electromyographic analysis of unloading in children from 4 to 8 years of age. *Experimental Brain Research*, 142 : 354-364.
- [45] Schmitz, C., Martineau, J., Barthélémy, C., Assaiante, C. (2003) Motor Control and Autism : Deficit of Anticipatory Function. *Neuroscience Letters*, 348 ; 17-20.
- [46] Simion F, Regolin L, Bulf H. (2008) A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2008 ; 105(2) :809-813.
- [47] Sparto, P., Redfern, M., Jasko, J., Casselbrandt, M., Mandel, M., & Furman, J. (2006). The influence of dynamic visual cues for postural control in children aged 7–12 years. *Experimental Brain Research*, 168 : 505–516.
- [47b] Vaugoyeau M1, Viel S, Amblard B, Azulay JP, Assaiante C. (2008) Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans. *Gait Posture*. 2008 Feb ;27(2) :294-302. Epub 2007 May 16.
- [48] Vernazza-Martin, S., Martin, N., Vernazza, A., Leppellec-Muller, A., Rufo, M., Massion, J., Assaiante, C. (2005) Goal directed locomotion and balance control in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(1) :91-102.
- [49] Viel, S., Vaugoyeau, M., Assaiante, C. (2009). Adolescence : a transient period of proprioceptive neglect in sensory integration of postural control. *Motor Control*, 13 : 25-42.
- [50] Von Hofsten, C. (2013) Action in infancy : a foundation for cognitive development. In W. Prinz, M. Beisert and A. Herwig (Eds), *Action science : foundations of an emerging discipline* (pp255-279), Cambridge, MA ; MIT Press.
- [51] Von Hofsten, C., Rosander K. (2012) On the development of the mirror neuron system G. Rizzolatti and P. Ferrari (eds). *New Frontiers in Mirror Neuron Research*. Oxford University Press.
- [52] Wolpert, D.M., Miall, R.C., Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends Cogn Sci.*, 2 : 338-347.



# Acquisition motrice et marche chez les enfants avec trouble du spectre de l'autisme

Noémie Gazaniol<sup>1</sup>

**L**E trouble du spectre de l'autisme est une pathologie caractérisée principalement par des troubles de la relation et de la communication, et des troubles du comportement. Les troubles cognitifs, d'interaction sociale et de communication étant prépondérants, l'aspect moteur est souvent sous-estimé. Il est pourtant l'un des premiers signes à se manifester chez l'enfant, et le garant de son autonomie au déplacement.

## Autonomie et marche

L'autonomie est la capacité progressive de s'assumer seul face aux événements, aux lieux et aux rapports sociaux. La prise en charge de l'enfant TSA est une conquête permanente de l'autonomie. L'enfant acquiert son autonomie de façon progressive, d'abord par rapport à la maîtrise de son corps (déplacement, propreté, nourriture), puis vis à vis de son environnement et de l'autorité parentale.

L'acquisition de l'autonomie commence donc par l'acquisition de l'autonomie au déplacement qui aboutit à l'acquisition de la marche. Le déroulement du calendrier d'acquisitions motrices est retardé chez l'enfant TSA. Il se traduit souvent par un retard de marche et des troubles à la marche persistants, avec augmentation du polygone de sustentation, des chutes fréquentes, des troubles de l'équilibre et fréquemment une marche typique sur la pointe des pieds. Ces troubles sont susceptibles de ralentir l'acquisition de l'autonomie au déplacement de ces enfants.

## Troubles moteurs chez les enfants TSA [1, 2]

La plupart des enfants avec TED ou autisme présentent des troubles moteurs. Ces troubles moteurs sont intriqués aux troubles sensoriels que nous ne développerons pas ici.

Les difficultés motrices s'expriment à différents niveaux :

- le niveau d'activité motrice qui peut être déviant au niveau quantitatif (enfant soit apathique, soit hyperkinétique, ou une alternance

des deux) et qualitatif ;

- Des troubles du tonus, avec la plupart du temps une hypotonie globale liée à un retard du déroulement du calendrier moteur. Cette hypotonie a un retentissement orthopédique (déformation des axes des membres inférieurs, attitude scoliotique, cyphose, pieds plats), et sur la motricité fine. Elle entraîne également une difficulté d'ajustement postural avec l'absence d'anticipation des ajustements posturaux. Nous notons également souvent une hypertonie des triceps qui explique une marche caractéristique sur la pointe des pieds ;
- les postures et attitudes bizarres pouvant avoir des retentissements orthopédiques importants ;
- un retard de développement moteur avec souvent un décalage dans l'acquisition de mouvements naturels associés au retard de tonus. Au niveau de la motricité globale, on retrouve une grande difficulté d'acquisition des mouvements alternatifs, ou nécessitant une dissociation des deux hémicorps, un retard dans l'acquisition de la montée et surtout la descente des escaliers, des difficultés de coordination et de synchronisation des bras ou des jambes. La motricité fine est également très souvent altérée ;
- des mouvements stéréotypés (*flapping*, tournoiement, balancement...) qui s'accompagnent le plus souvent d'une sensation de soulagement ou de plaisir ;
- des troubles de l'équilibre avec une augmentation du polygone de sustentation ;
- des troubles de la coordination oculo-manuelle ;
- des troubles de la marche, avec une pauvreté des mouvements synchronisés du corps, comme l'antéimpulsion du tronc et le balan-

1. Kinésithérapeute libéral DU pédiatrie, Porto Vecchio

cement alternatif des bras, et souvent une augmentation du polygone de sustentation. Le neurologue Olivier Sacks décrit une démarche avec « *un aspect figé, une démarche empruntée, dont certains aspects pouvaient même évoquer une ataxie* ». Une démarche typique, fréquemment retrouvée chez l'enfant avec autisme, est la marche sur la pointe des pieds qui est souvent liée à une hyperesthésie plantaire. La marche de l'enfant avec autisme est d'ailleurs un des items de l'outil de dépistage précoce de l'autisme M-CHAT.

### Etat des lieux dans la littérature

La littérature kinésithérapique ne décrit que très peu cette pathologie et la rééducation adaptée. Evelyne Soyez est l'une des rares kinésithérapeutes à avoir écrit sur le sujet. Elle décrit une rééducation sensori-motrice basée sur le Niveau d'Evolution Motrice associée à des stimulations sensorielles variables [1, 3].

La littérature décrit pourtant des troubles moteurs importants dans les TSA. Les troubles moteurs sont d'ailleurs souvent le premier motif de consultation des parents, et le kinésithérapeute souvent le premier professionnel paramédical vers qui l'enfant sera adressé, avant même qu'il n'y ait de diagnostic. Les recherches actuelles concernant les TSA portent d'ailleurs principalement sur le diagnostic précoce de l'autisme (avant 18 mois) qui est basé essentiellement sur l'examen neuro-moteur.

Qu'en est-il des études concernant le point de vue moteur, locomoteur et rééducatif des enfants TSA [4] ?

- Une étude de la « *South Carolina Autism and Developmental Disabilities Monitoring Program* » réalisée sur 47 726 enfants, montre que 62% des enfants TSA présentent un retard du développement moteur. De plus, ces retards de développement sont observés avant l'âge de 3 ans dans 85% des cas.

- Esposito et al. ont réalisé une étude, par analyse vidéo rétrospective, sur la démarche d'enfants avec autisme non pris en charge. Cette étude, réalisée sur 55 enfants en bas âge, divisés en 3 groupes, montre que « l'âge d'autonomie à la marche » est de :

- 14,2 mois chez les enfants avec troubles autistiques ;
- 13,1 mois chez les enfants avec retards de développement non-autistes ;
- 12,9 mois chez les enfants sans trouble du développement.

Tout en restant dans la norme de l'âge de la marche, cet âge est malgré tout retardé chez les enfants avec troubles autistiques. De plus, ils ont identifié une différence significative au niveau du schéma de marche chez les enfants atteints de troubles autistiques par rapport au groupe témoin, notamment des mouvements atypiques des pieds, des bras, et de la symétrie générale. L'asymétrie posturale révélée par cette étude est en accord avec l'implication du cervelet dans les symptômes moteurs de l'autisme.

- Xue et al. ont mis en évidence, sur un groupe de 154 enfants, une prévalence des déficits moteurs chez les enfants ayant des TSA. L'hypotonie est le symptôme moteur le plus fréquemment retrouvé (51%), symptôme qui semble diminuer avec l'âge. L'apraxie motrice est également retrouvée chez 34% des enfants, et est aussi plus fréquente chez le jeune enfant que chez le sujet plus âgé. Une marche sur la pointe des pieds est observée dans 19% des cas, alors qu'un déficit de mobilité de la cheville est rarement présent. 9% des enfants montrent un retard au niveau de la motricité globale.

- Provost et al. ont évalué le retard moteur chez les enfants TSA âgés de 21 à 41 mois. 56 enfants ont été divisés en 3 groupes : des enfants atteints de trouble autistique, de enfants avec retard du développement sans trouble autistique, et des enfants ayant des troubles du développement sans retard moteur. L'analyse a montré que tous les enfants TSA présentent un retard de la motricité globale, de la motricité fine ou des deux. Les enfants TSA et les enfants avec retard du développement présentent des déficiences importantes au niveau du développement moteur par rapport au groupe témoin. Les scores moteurs des enfants atteints de TSA sont similaires aux enfants atteints de troubles du développement. Cette étude montre la nécessité d'inclure le paramètre de motricité globale dans l'évaluation de l'enfant atteint de TSA. Les résultats de cette recherche montrent que la majorité des enfants TSA de l'étude, ont un niveau de développement moteur similaire aux enfants avec troubles du développement, non seulement au niveau de la motricité globale et de la motricité fine mais aussi de la locomotion.

## Etude de l'âge des différentes acquisitions motrices et de la qualité de la marche chez les enfants TSA

Une étude longitudinale rétrospective a permis d'analyser l'âge d'acquisition des différents niveaux moteurs et d'autonomie de marche chez 3 enfants diagnostiqués TED avec traits autistiques. Il a été pris pour témoin les normes d'acquisition de la marche et des niveaux d'évolution motrice de la littérature (calendrier moteur de C. Amiel Tison, et indicateur de la maturité de la marche de l'étude de Sutherland et al. [41])

Un groupe de 3 enfants diagnostiqués TED a été inclus dans l'expérimentation après avoir recueilli le consentement des parents :

1. L'enfant E est âgé aujourd'hui de 4 ans et demi. Il est atteint d'un retard global du développement dans un contexte de TED non spécifié. Sa prise en charge actuelle consiste à de la kinésithérapie, de l'orthophonie, 20 heures d'ABA par semaine, et 2 séances d'ostéopathie par an.
2. L'enfant P est âgé de 7 ans. Il est atteint d'un TED non spécifié, avec épilepsie associée. Sa prise en charge actuelle, et ce depuis qu'il a l'âge de 4 ans et 2 mois, consiste à de la psychomotricité, de l'orthophonie (méthode PADOVAN), de l'ergothérapie, de la chiropraxie, et 15 heures d'ABA par semaine.
3. L'enfant D est âgé aujourd'hui de 4 ans. Il est atteint d'un TED non spécifié avec une dilatation du 4<sup>ème</sup> ventricule diagnostiqué in utero, il est actuellement en attente d'une consultation neuropédiatrique. Sa prise en charge actuelle se résume à une prise en charge ABA 6 heures par semaine, et de l'équithérapie.

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- être diagnostiqué TED ou autiste ;
- avoir acquis la marche ;
- être âgé de 4 à 8 ans (car le schéma de marche de l'enfant est normalement similaire à celui de l'adulte à partir de l'âge de 4 ans).

Les critères d'exclusion sont les suivants :

- être autiste Asperger, car ce syndrome se distingue des autres formes d'autisme puisqu'il ne présente pas de retard ou de déficience du langage et du développement cognitif ;
- ne pas avoir acquis la marche.

Le critère de non inclusion est le suivant : avoir une capacité intellectuelle et/ou des troubles du comportement ne permettant pas la compréhension des consignes nécessaires aux tests réalisés dans l'étude.

Les données à analyser ont été recueillies grâce aux outils suivants :

- interrogatoire précis des parents ;
- un questionnaire (Annexe 1) à l'attention des parents pour définir les premiers troubles les ayant alertés, et l'âge d'acquisition des différents niveaux d'acquisition motrice et de la locomotion ;
- un questionnaire plus général pour les Centres Ressources Autisme, avec l'âge d'acquisition de la position assise, de la marche, et la prise en charge ou non par un kinésithérapeute d'enfants diagnostiqués par leur service ;
- l'enregistrement vidéo dans un couloir de 5 mètres minimum afin de visualiser l'enchaînement de 3 cycles de marche et de permettre une analyse qualitative de la marche.

Pour l'analyse de la marche des enfants, il a été pris en compte comme critères d'évaluation les 4 indicateurs de la maturité de la marche définis par Sutherland [5], c'est à dire :

1. le contact initial du pied au sol par le talon ;
2. le balancement alterné des bras associé à la dissociation des ceintures pelviennes et scapulaire ;
3. la flexion du genou juste après le contact initial avec l'acceptation du poids du corps ;
4. le rapport largeur bassin / écartement des chevilles lors du double appui.

### Analyse des résultats de l'étude

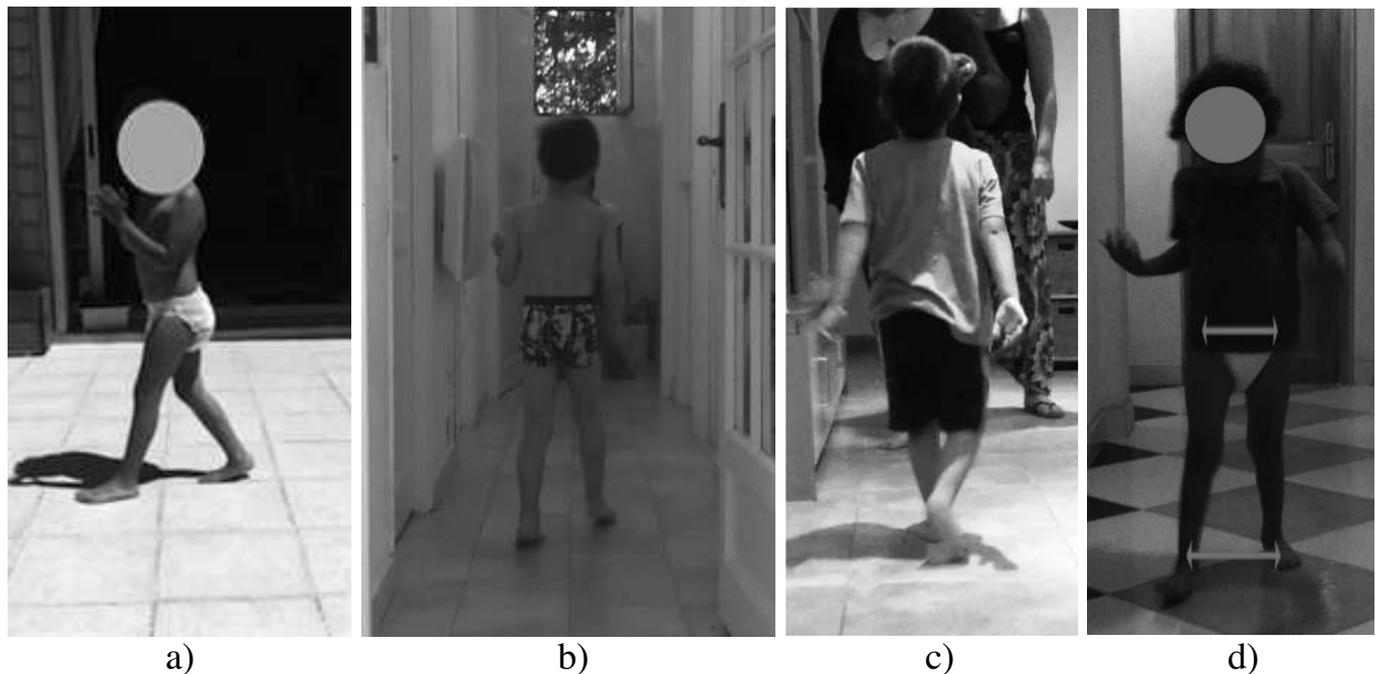
Après traitement et analyses des résultats nous pouvons voir que le premier trouble ayant alerté les parents est un trouble moteur pour 2/3 des enfants de l'étude.

#### a) Analyse de l'âge d'acquisitions des niveaux d'acquisitions motrices et de la locomotion (Annexe 2)

La tenue de tête, les retournements, la station assise sont globalement acquise en temps voulu pour les 3 enfants de l'étude.

Nous remarquons un retard au niveau de :

- La station debout pour les 3 enfants ;
- Le passage de la position assise à debout, qui est acquis tardivement pour 2 cas, bien



**Fig. 1** – Les différentes démarches : a) Marche plantigrade, b) Marche digitigrade, c) Absence de balancement des bras et d) Augmentation du polygone de sustentation.

après l'acquisition de la marche. Bien que la marche soit acquise, cela limite fortement l'autonomie à la marche puisque l'enfant a besoin de l'aide d'une tierce personne pour se mettre debout ;

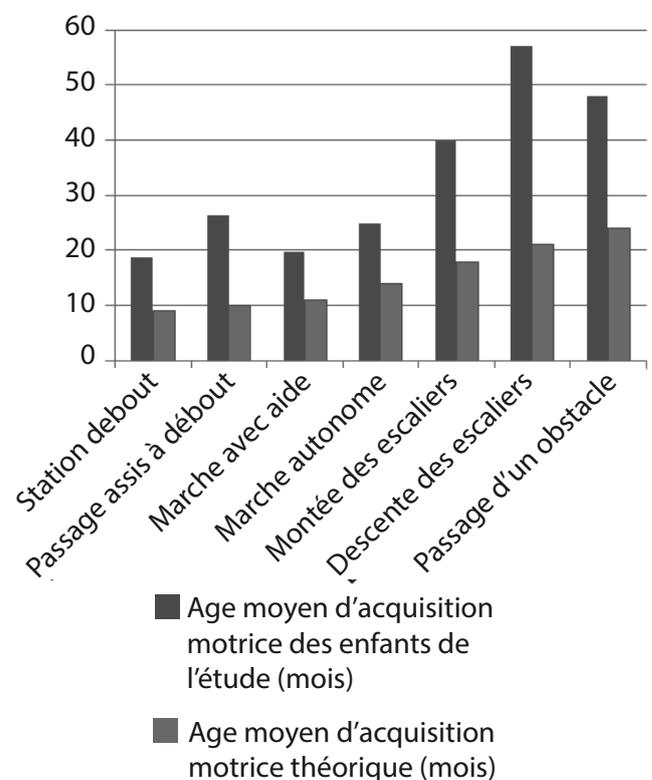
- La marche : pour 2/3 des cas on note un retard important de la marche. Le 3<sup>ème</sup> enfant acquiert néanmoins la marche à 15 mois mais au-delà de l'âge moyen défini par C. Amiel Tison.
- La montée et descente des escaliers se fait bien au-delà de l'âge moyen de cette acquisition motrice pour nos trois cas, de même que pour le passage d'un obstacle pour deux d'entre eux.

En résumé, les acquisitions motrices après la station assise, se font globalement en retard par rapport à l'âge d'acquisition moyen dans les trois cas.

Pour 2/3 des cas, nous notons un retard important de la marche bien au-delà de l'âge limite fixé par C. Amiel Tison ainsi que le passage assis à debout bien après la marche. L'enfant D acquiert la marche dans les normes d'acquisition, mais malgré tout au-delà de l'âge moyen d'acquisition.

Nous notons également que l'écart se creuse dans les retards d'acquisition motrice. La tenue de tête et les retournements sont acquis à des âges tout à fait

normaux tandis que le retard est flagrant dès la position debout. Plus les acquisitions motrices sont avancées plus les retards sont importants.



**Fig. 2** – Analyse des âges d'acquisition motrice.

*b) Analyse des niveaux d'acquisition motrice des enfants diagnostiqués au CRA Corsica*

**La position assise**

Nous observons que l'âge moyen d'acquisition de la position assise est de 9,6 mois, au-dessus de la limite fixée par l'examen d'Amiel Tison. Bien qu'acquise chez tous les enfants de cette étude, elle ne l'est qu'assez tardivement pour 44% d'entre eux.

**La marche**

Nous observons que l'âge moyen d'acquisition de la marche est de 17,38 mois, bien au-delà de l'âge moyen d'acquisition et même proche de l'âge limite fixé par C. Amiel Tison. Et le calcul de la moyenne d'âge d'acquisition de la locomotion sans prendre en compte le dernier enfant qui a un retard beaucoup plus marqué que les autres enfants, nous avons une moyenne d'âge qui est de 14,3 mois, bien supérieure à la moyenne d'âge de l'autonomie de la marche chez des enfants sans trouble du développement (12,9 mois). Nous pouvons donc affirmer que la position assise est acquise tardivement chez près de la moitié des enfants TSA de cet échantillon, et que la marche, bien qu'acquise globalement dans la fourchette d'âge « normal », se fait tout de même plus tardivement que chez les enfants non TSA.

En bref, il est noté un retard dans l'acquisition de la position et de la marche, puisque la position assise sans appui est en moyenne acquise au-delà de l'âge moyen d'acquisition, et la marche proche de l'âge limite d'acquisition.

*c) Analyse des indicateurs de maturité de la marche chez les 3 enfants de l'étude*

La marche étant acquise, bien que tardivement, chez la plupart des enfants TSA, une étude qualitative de celle-ci a été faite en fonction des 4 indicateurs de maturité de la marche (contact initial par le talon, balancement alterné des bras combiné à une dissociation des ceintures, flexion du genou en phase portante, rapport largeur bassin/écartement cheville pendant la phase de double appui)

Ces quatre indicateurs sont révélateurs de l'acquisition normale de la marche et sont tous les 4 normalement acquis à partir de l'âge de 4 ans.

Tout d'abord, lors de l'analyse de la marche, on remarque une tendance des trois enfants à la course pour aller d'un point à un autre témoignant probablement une meilleure gestion de leur équilibre à la course. On peut s'apercevoir également d'une difficulté importante à respecter une trajectoire. Nous

observons chez les trois enfants de l'étude que la phase d'attaque du pas ne se fait pas par le talon. La marche observée est plutôt une marche plantigrade et même parfois digitigrade, ce qui modifie le schéma de marche.

Le balancement alterné des bras n'est pas acquis dans les trois cas avec une absence de balancement pour deux d'entre eux et une exagération du balancement des bras non systématique pour le troisième relevant plus d'un maniérisme que de la dissociation des ceintures. Le polygone de sustentation est anormalement élevé pour 2/3 des cas traduisant un équilibre encore précaire pour les enfants P et E (Figure 1).

Pour résumer, nous constatons que les facteurs d'acquisition normale de la marche ne sont pas acquis pour les trois enfants. De plus, l'enfant ayant un âge d'acquisition de marche en deçà de l'âge limite d'acquisition, n'a malgré tout pas une marche « normale » puisqu'il ne présente que deux critères sur quatre d'acquisition normale. La marche n'est donc pas acquise normalement chez tous les enfants de l'étude.

**Conclusion**

Ces résultats, bien qu'allant dans le sens d'un retard, d'apparition précoce, dans l'acquisition de la motricité globale et de locomotion des enfants TSA, ne sont pourtant pas significatifs du fait de la petite taille de l'échantillon qui ne permet pas l'extension à une population générale.

La significativité de ces résultats est discutable également compte tenu de la simple comparaison à des normes tirées de la littérature et de l'absence de population témoin.

De plus l'analyse de la marche n'a pu être faite qu'avec les moyens à disposition, c'est à dire un couloir (non identique pour les trois enfants) et une caméra.

Nous pourrions envisager de mettre en place une étude cas-témoin comparant les âges des niveaux d'acquisition motrice et la marche d'enfants TSA et d'enfants du même âge sans trouble autistique. Il serait également intéressant de faire une analyse précise de la marche des enfants TSA avec des marqueurs et électromyogramme dans laboratoire de la marche.

Date de naissance	Sexe	Acquisition de la		Diagnostic CRA	Suivi Kiné
		Station Assise	Marche Autonome		
Nov 2009	M	9 mois	16 mois	Autisme sévère	Non
Déc 2009	M	9 mois	15 mois	TED	Non
Avr 2005	M	7 mois	11,5 mois	Syndrome désintégratif	Non
Janv 2009	M	6 mois	14 mois	Syndrome désintégratif	Non
Juil 2008	F	9 mois	17 mois	Autisme sévère	Non
Nov 2009	M	?	12 mois	En cours	Non
Janv 2009	M	?	16 mois	En cours	Non
Juil 2009	M	?	13 mois	En cours	Non
Avr 2007	M	18 mois	3,5 ans	<sup>a</sup>	Oui

TABLE 1 – <sup>a</sup> Maladie chromosomique avec traits autistiques

	Sujet : Enfant E Âge : 4 ans Marche : 3 ans 1/2	Enfant P 7 ans 2 ans	Enfant D 4 ans 15 mois
Contact initial talon	N	±	N
Balancement alterné des bras	±	N	N
Flexion du genou en phase portante	N	○	○
Rapport largeur du bassin/écartement des chevilles	< 1	égal à 1	○

TABLE 2 – ○ : Acquis, N : Non acquis, ± : en cours d'acquisition

## Annexe 1 : Questionnaire d'évaluation

Prénom de l'enfant :

Âge :

Diagnostic médical :

Troubles associés :

Prise en charge paramédicale :

1° Quels sont les premiers troubles que vous avez remarqués chez votre enfant ?

2° Avez-vous remarqués des troubles (Détaillez si possible) :

- de contact visuel ?

- moteurs ?

- de sensibilité ?

3° A quel âge précisément votre enfant a-t-il acquis, (si c'est acquis) :

- la tenue de sa tête

- les retournements dans son lit (dos/ventre et inversement)

- la position assise sans appui

- le passage de la position assise à la position debout de manière autonome

- la station debout

- la marche avec aide

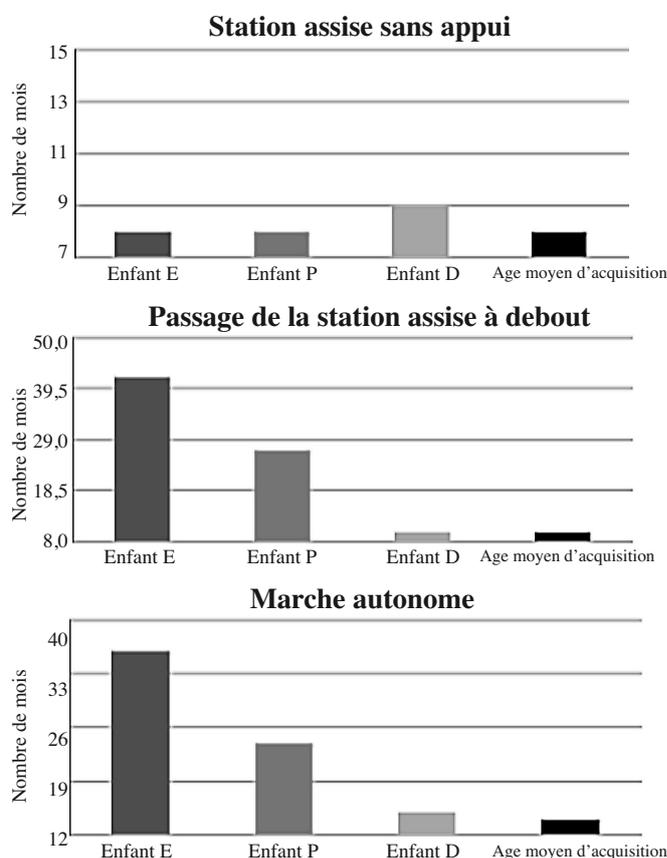
- la marche sans aide (premiers pas)

- la montée des escaliers (avec aide)

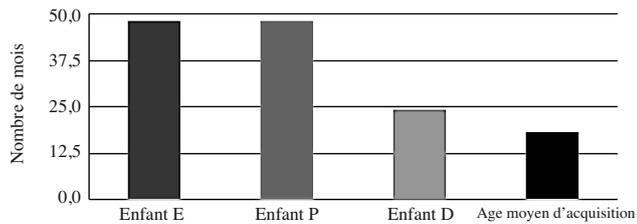
- la descente des escaliers (avec aide)

4° Aujourd'hui votre enfant tombe-t-il souvent, le passage d'un obstacle se fait-il facilement ?

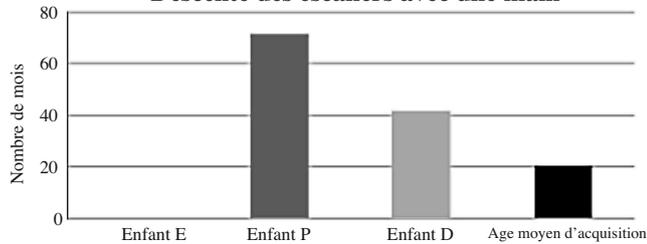
## Annexe 2



Montée des escaliers avec une main



Descente des escaliers avec une main



## Références

- [1] E. Soyez-Papiernik, « Comprendre la rééducation des anomalies du développement », Editions MASSON (2005).
- [2] D. Caucal & R. Brunod, « Les aspects sensoriels et moteurs de l'autisme », AFD Editions (2011).
- [3] B. Rogé, C. Amiel-Tison, E. Soyez & M. Gedda, « Autisme : les kinésithérapeutes en première ligne », Kinésithérapie les annales, N°37, p.17-34 (Janvier 2005).
- [4] Ana C. Mieres, Russel S. Kirby, Armstrong, Murphy & Grossman, « Autism Spectrum Disorder : An Emerging Opportunity for Physical Therapy », Pediatric Physical Therapy, Vol 24, Issue 1 (Spring 2012).
- [5] E. Viel, « La marche humaine, la course et le saut », Editions MASSON (2000).



# Intérêt d'une préparation physique adaptée pour l'apprentissage du ski chez le jeune autiste

Marion Pace<sup>1,2,3</sup>, Chloé Londero<sup>4</sup>, Bruno Lepaulle<sup>5</sup>, Véronique-Aurélié Bricout<sup>1,2,3,4</sup>

## Cadre théorique

### Activité physique et autisme

DEPUIS les années 1995-1998, l'intérêt des activités physiques retient l'attention des thérapeutes prenant en charge les enfants avec autisme. Des programmes d'entraînement sont ainsi proposés, pour en mesurer le bénéfice sur la santé, mais aussi l'impact sur l'intégration sociale. Dans un document publié en 2010 par la Haute Autorité de Santé (HAS) et son argumentaire, il y est publié une recommandation qui préconise que la prise en charge des enfants avec autisme doit reposer sur la pratique régulière d'activités physiques. La finalité est de rendre ces enfants physiquement plus actifs pour bénéficier des effets positifs de ce mode de vie sur les indicateurs de santé, le bien-être et la qualité de vie. Dans ce cadre de promotion de l'activité physique adaptée, une proposition de prise en charge de jeunes autistes par l'activité ski alpin a été faite sur une saison de ski.

### Le ski et sa problématique chez le jeune autiste

Au fil des années, les techniques d'apprentissage du ski ont beaucoup évolué en particulier parce que le matériel de glisse a lui-même considérablement changé. D'un ski long et droit au ski court et parabolique actuel, des chaussures souples et basses aux chaussures hautes et rigides, nous sommes donc passés à une période où le skieur positionne son corps en rapport à un matériel qui s'adapte aux différentes évolutions. En d'autres termes, les évolutions technologiques ont une influence sur la technique enseignée par le biais des transformations de la motricité qu'elle induit. Grâce à ce progrès matériel et technique qui facilite sensiblement l'apprentissage, les débutants parviennent aujourd'hui à acquérir très rapidement les prémices de la glisse. Par ailleurs, si l'apprentissage du ski suppose l'acquisition de sché-

mas moteurs précis, il nécessite aussi une bonne vision dans l'espace, ainsi qu'une capacité d'anticipation et de prises de décision très rapides, pour s'adapter à l'irrégularité du terrain et à la survenue d'obstacles. Ces fonctions sont sous-tendues par des structures corticales (néocortex associatif notamment) des structures sous-corticales (striatum, thalamus) et requièrent un transfert inter-hémisphérique efficace via le corps calleux. Parmi les modalités cognitives, celles impliquées en priorité dans l'apprentissage du ski sont pour l'enfant, l'attention, le traitement de l'information, les fonctions exécutives et la mémoire. Cependant dans l'autisme des déficits de saisie et d'intégration de l'information existent [1]. On constate des troubles de perception sensorielle mais aussi une hyper-sélectivité des informations occasionnant un défaut de cohérence centrale. Toutes les modalités sensorielles sont probablement concernées (visuelle, auditive, olfactive, gustative, tactile) [1]. De ce fait, une des propositions faites pour faciliter l'apprentissage du ski à l'enfant avec autisme est donc de construire une intervention pédagogique qui repose sur la proposition de séances de ski qui stimulent ces modalités sensorielles, et en parallèle des séances d'activité physique adaptée qui permettent de préparer à l'activité ski. En particulier, durant ces séances, les stimulations de l'enfant avec autisme reposeront sur l'utilisation de **l'imitation provoquée dans le processus d'apprentissage** [2].

### L'imitation provoquée

C'est un outil d'apprentissage, une méthode éducationnelle qui peut apporter des résultats dans la prise en charge de l'autisme. Elle est une des modalités de l'imitation mais elle n'est pas l'imitation spontanée, car privée d'intentionnalité. En ce sens, l'imitation provoquée se distingue donc de ce que

1. Univ. Grenoble Alpes, HP2, F-38000 Grenoble, France

2. INSERM U1042, F-38000 Grenoble, France

3. CHU de Grenoble, UF Recherche Exercice ; UM Sports et Pathologies F-38000 Grenoble, France

4. Univ. Grenoble Alpes, UFR APS F-38000 Grenoble, France

5. Centre PneumoSud, 3 allée Paul Feval F-38130, Echirolles, France

Nadel [2] définit dans le terme d'imitation : « *l'imitation joue un rôle essentiel dans le développement de l'enfant car elle remplit deux fonctions importantes : elle permet d'apprendre ce que l'on voit faire, et elle permet de communiquer sans mot* ». Apprendre et communiquer sont deux verbes d'action qui font partie du panel de difficultés qu'éprouve le sujet autiste pour s'adapter. *Apprendre* car cette fonction implique l'attirance de l'être humain vers la nouveauté ce que ne manifeste pas ou peu l'autiste, enfermé dans ses rituels comportementaux. *Communiquer*, car il s'agit d'une difficulté centrale dans l'autisme. Ainsi, *apprendre* à l'enfant avec autisme c'est l'attirer vers une tâche nouvelle. Communiquer, c'est créer avec lui un lien, le faire *imiter* c'est donc l'inciter à communiquer avec un pair avec qui il est en train de réaliser une activité, et c'est montrer ainsi l'intérêt qu'on se porte l'un à l'autre. **L'imitation** en ski n'en est donc que plus difficile car même quand le sujet autiste regarde (de lui-même ou non) en direction du modèle, on sait non seulement qu'il se focalise sur un ou plusieurs détails, ne percevant pas l'attitude générale du skieur, mais aussi qu'il a plus de mal à percevoir que le sujet est en mouvement, ce qui est expliqué par son déficit de cohérence centrale. Cette malvoyance est d'autant plus manifeste que le mouvement est rapide. D'où l'aphorisme : « le monde va trop vite pour l'enfant avec autisme » [3].

En ski, le dysfonctionnement de la coordination et de l'anticipation et donc finalement de la planification des mouvements, engendre une difficulté de « lecture du terrain » et de prévision des ajustements posturaux en conséquence. L'enfant avec autisme adopte en ski une attitude simple qui lui est habituelle : une posture droite, sans ajustement spécifique à l'activité. Il se tient sur ses skis comme il se tient dans la vie de tous les jours. Cette attitude « droite et figée » ne lui permet pas de s'adapter idéalement à l'environnement instable que constitue une piste de ski (éclairage variable en fonction de la luminosité, de l'ensoleillement, grandes incertitudes du relief de la piste : bosses, dévers, cailloux, autres skieurs...) mais sans doute le rassure dans son fonctionnement habituel. C'est pourquoi le moniteur de ski doit solliciter des réponses comportementales qui mettent le jeune skieur en situation de réussite. Il s'agit d'un jeu corporel qui se fonde d'abord sur les sensations, sur les échanges ressentis entre le plaisir physique et sensoriel éprouvé et son intentionnalité mise à l'épreuve des faits.

**L'hypothèse de notre travail est donc de vérifier que la prise en charge d'un jeune autiste par une préparation physique adaptée régulière, basée sur des situations où l'enfant doit imiter, lui permet d'adopter une posture ski « dynamique et réactive » dans son environnement de pratique.**

### Méthodologie

Cinq jeunes hommes âgés de 12 à 23 ans, diagnostiqués avec un TSA ont participé bénévolement à cette étude (diagnostic réalisé au CADIPA). Tous sont inscrits dans un club de ski et ont une expérience de l'activité de plusieurs années (au moins déjà 4 saisons de pratique). Les caractéristiques de ces participants sont données dans le Tableau 1.

### Organisation de la prise en charge

**Phase 1** : Réalisation d'une vidéo de ski en mars 2013, permettant une première évaluation qualitative « ski ».

**Phase 2(a)** : programme d'entraînement en salle sur 11 séances d'octobre à décembre 2013.

- Les ateliers sont orientés sur du travail moteur spécifique avec en particulier l'acquisition du mouvement vertical, afin d'inciter le pratiquant à « quitter » sa posture droite figée pour tendre vers une posture dynamique, réactive et plus souple. Le pratiquant est sollicité verbalement, visuellement et physiquement afin d'orienter son regard vers le modèle qui exécute le mouvement vertical. Son attention doit se focaliser sur l'observation du mouvement pertinent à réaliser, tout en créant un climat motivant avec renforcements sociaux (encouragements et félicitations) afin de stimuler son intérêt.
- Evaluation initiale sur une batterie de 6 tests physiques : 1) Les montagnes russes, 2) La détente verticale, 3) Le *taping*, 4) Les multi-bonds, 5) Le parcours FFS, 6) Le test navette (voir annexe).

**Phase 2(b)** : programme d'entraînement de 10 séances de ski alpin de janvier à avril 2014.

Evaluation initiale du niveau de ski des participants et de l'évolution de leur gestuelle par la grille d'observation du skieur issue de la FFS. Elle est remplie par six moniteurs de ski diplômés d'Etat et expérimentés dans l'encadrement de personnes en situation de handicap. Le niveau général est évalué et coté

		AUT 1	AUT 2	AUT 3	AUT 4	AUT 5
	Age (années)	19	23	17	15	12
	Poids (kg)	78	78	50	70	55
	Taille (cm)	1,82	1,85	1,70	1,78	1,7
	Diagnostic	TED	TED	TED	TED	TED
<b>Caractéristiques comportementales</b>						
Socialisation		Relations avec ses pairs		Reste en groupe		Isolement
Communication		Verbal "saccadé"		Verbal "répétitif"		Verbal "écholalique"
						Non verbal
						Verbal "écholalique"
<b>Caractéristiques motrices</b>						
Multibonds (m)	force explosive	1,65	1,90	1,56	1,50	/
Détente verticale (cm)	force explosive	29	47	34	18	15
Taping (nombre)	endurance-force	44	25	24	21	14
Test Navette (sec)	vitesse-coordination	5,16	6,07	8,32	6,18	10,04
Parcours moteur FFSA (sec)	vitesse-coordination-planification	50,1	51,9	77,4	70,1	105,6
Parcours moteur Montagnes russes (sec)	vitesse-coordination-mouvement vertical	8,6	10	10,5	11,9	17,8

**Table 1** – Caractéristiques des participants.

sur la base des 4 fondamentaux du ski alpin (centrage, manœuvres de carres, charge, pivotement).

**Phase 3** : Evaluations finales quantitatives et qualitatives après programme d'entraînement en salle et sur terrain, et par une nouvelle évaluation filmographique de la progression en ski.

### Analyses statistiques

Les résultats des évaluations sont donnés en moyenne  $\pm$ SD. Les résultats sont comparés entre chaque temps de passage par un test de Student. Le seuil de risque a été fixé  $p < 0,05$ . Compte-tenu du faible effectif de cette étude ( $n=5$ ) et de l'hétérogénéité des sujets, il paraît judicieux de compléter ces résultats par une analyse des profils individuels pour chacun des 6 tests.

### Résultats

Les résultats sont présentés Figures 1 (1.A à 1.F) pour le groupe entier et individuellement Figures 2 (2.A à 2.F)

#### 1) Analyses des tests moteurs

**1.A. Test des montagnes russes** Cet atelier permet un travail du mouvement vertical et stimule spécifiquement des séquences motrices des membres inférieurs en fonction d'une analyse visuelle de l'environnement à parcourir. Il s'agit d'une série de haies hautes et basses alternées, à franchir le plus vite possible. Cet atelier a été proposé à chaque séance et c'est le seul à avoir été évalué 6 fois au cours du cycle (1 séance sur 2), compte-tenu de l'importance à automatiser les séquences motrices visées, afin que les jeunes les utilisent aisément en ski en réaction à des mouvements de relief inattendus. L'analyse

des résultats montre qu'au fil des apprentissages, le temps mis par les jeunes autistes pour parcourir l'espace et les franchissements de haies s'améliore significativement. Cet effet est trouvé pour le groupe entier, et pour chacun des enfants.

**1.B. Test navette** Ce test consiste à parcourir le plus rapidement possible une distance de 5 m comprise entre deux plots 3 fois successivement. On constate après une saison de prise en charge qu'il existe une diminution du temps de parcours moyen pour l'ensemble des sujets, comme pour chacun des sujets, mais pour le groupe cette amélioration du temps de parcours n'est pas significative.

**1.C. Test taping** Cet atelier consiste à sauter latéralement au dessus d'une petite haie, le plus grand nombre de fois possible durant 40 s. Avec l'apprentissage, il existe une augmentation significative du nombre de répétitions effectuées pour l'ensemble des sujets ( $p < 0,05$ ).

**1.D. Test de détente verticale** Le sujet doit par ce test montrer sa capacité à exécuter un saut vertical le plus haut possible sans aucune prise d'élan. Il existe une amélioration significative de la détente entre l'évaluation 1 et 2 pour le groupe entier ( $p < 0,05$ ), mais entre les évaluations 1 et 3 ou 2 et 3, les différences ne sont plus significatives. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait qu'individuellement les sujets 3 et 4 ne progressent plus et semblent donc avoir dès le milieu du cycle d'apprentissage, atteint leur capacité maximale.

**1.E. Test des Multi-bonds** Cet atelier consiste à enchaîner des sauts horizontaux les plus longs possibles. Il existe un effet significatif de la prise en charge avec une amélioration des performances qui se dessine en fin de prise en charge. Individuellement on remarque que ce test pose des problèmes puisque pour 2 sujets sur 4, il y a au temps 2 de l'évaluation une altération des performances, et un sujet ne parvient pas à réaliser ce test dans sa totalité.

**1.F. Parcours FFS adapté** Conçu spécialement pour l'étude, ce parcours est constitué d'une succession de 11 ateliers que le sujet doit franchir le plus rapidement possible. Avec la prise en charge, le temps mis pour parcourir ces 11 ateliers s'améliore significativement entre les différents temps d'évaluation ( $p < 0,05$ ), et les progrès observés individuellement confirment qu'entre les évaluations 1 et 3 les améliorations chronométriques sont très nettes ( $p < 0,01$ ).

## 2) Analyses des séquences filmographiques 2013-2014

L'évaluation du niveau de ski des sujets et l'évolution de leur gestuelle se fait par analyse vidéo, au travers d'une grille d'observation du skieur, conçue pour l'étude. Six moniteurs de ski diplômés et expérimentés dans l'encadrement en ski de personnes en situation de déficience intellectuelle participent à cette analyse. Le niveau général est évalué et coté sur la base des quatre fondamentaux du ski alpin (centrage, manœuvres de carres, charge, pivotement). Initialement les principales caractéristiques décrites par les observateurs, de façon indépendante montrent des enfants qui skient avec une attitude passive, statique, défensive (nonchalance ou raideur), des bras repliés sur soi ou tendus en avant pour compenser un éventuel centrage arrière, un manque de réponse-réactivité des membres inférieurs, un buste très redressé, une jambe extérieure très raide. En 2014, leur attitude s'est améliorée par rapport à cette modélisation de départ. Elle semble moins défensive, plus relâchée et moins passive.

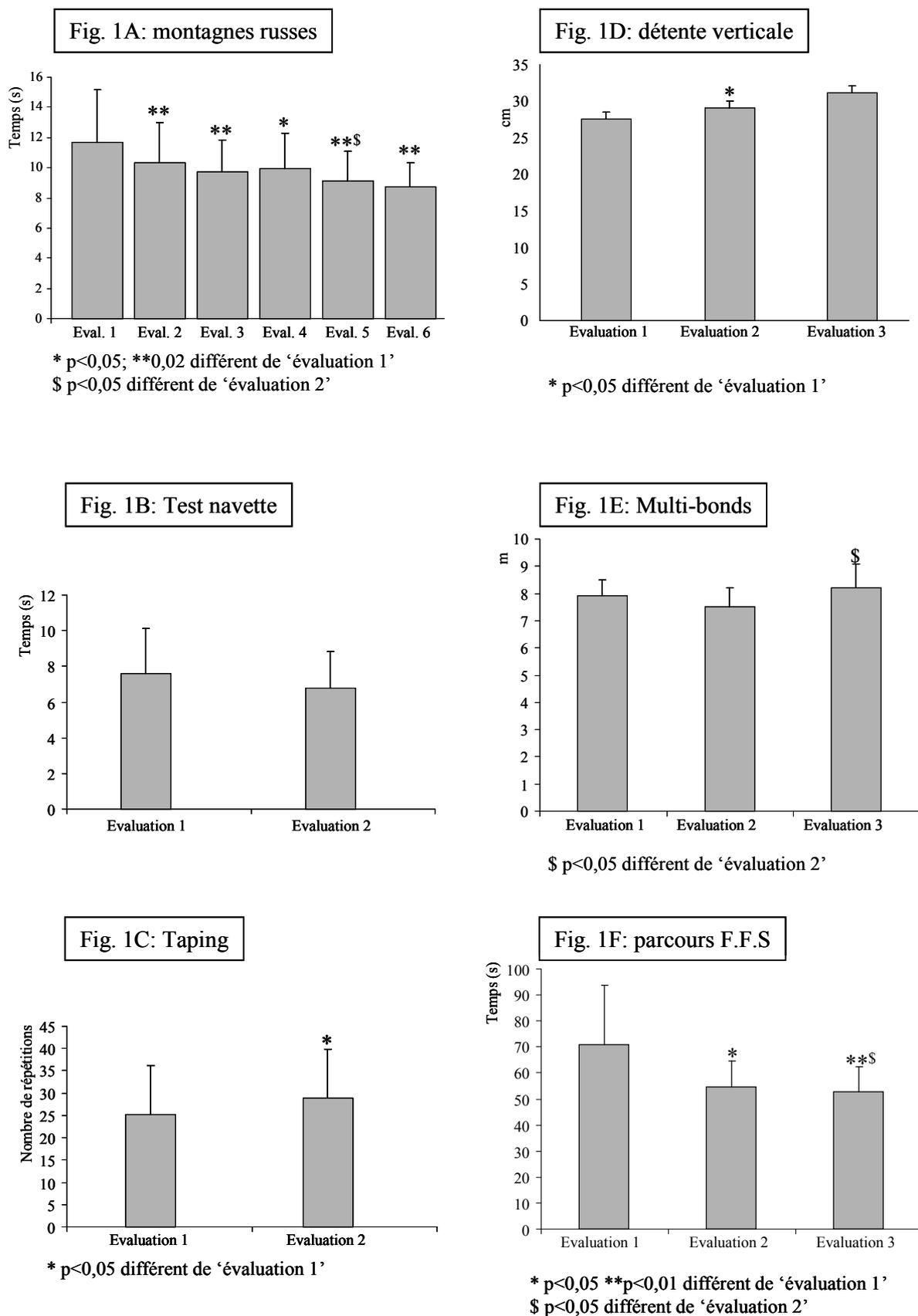
## Discussion

L'objet de cette étude était de vérifier les effets d'une prise en charge par un programme d'activité physique adaptée, basé sur l'imitation provoquée pour stimuler l'adoption d'une posture ski « dynamique et réactive » dans son environnement de pratique.

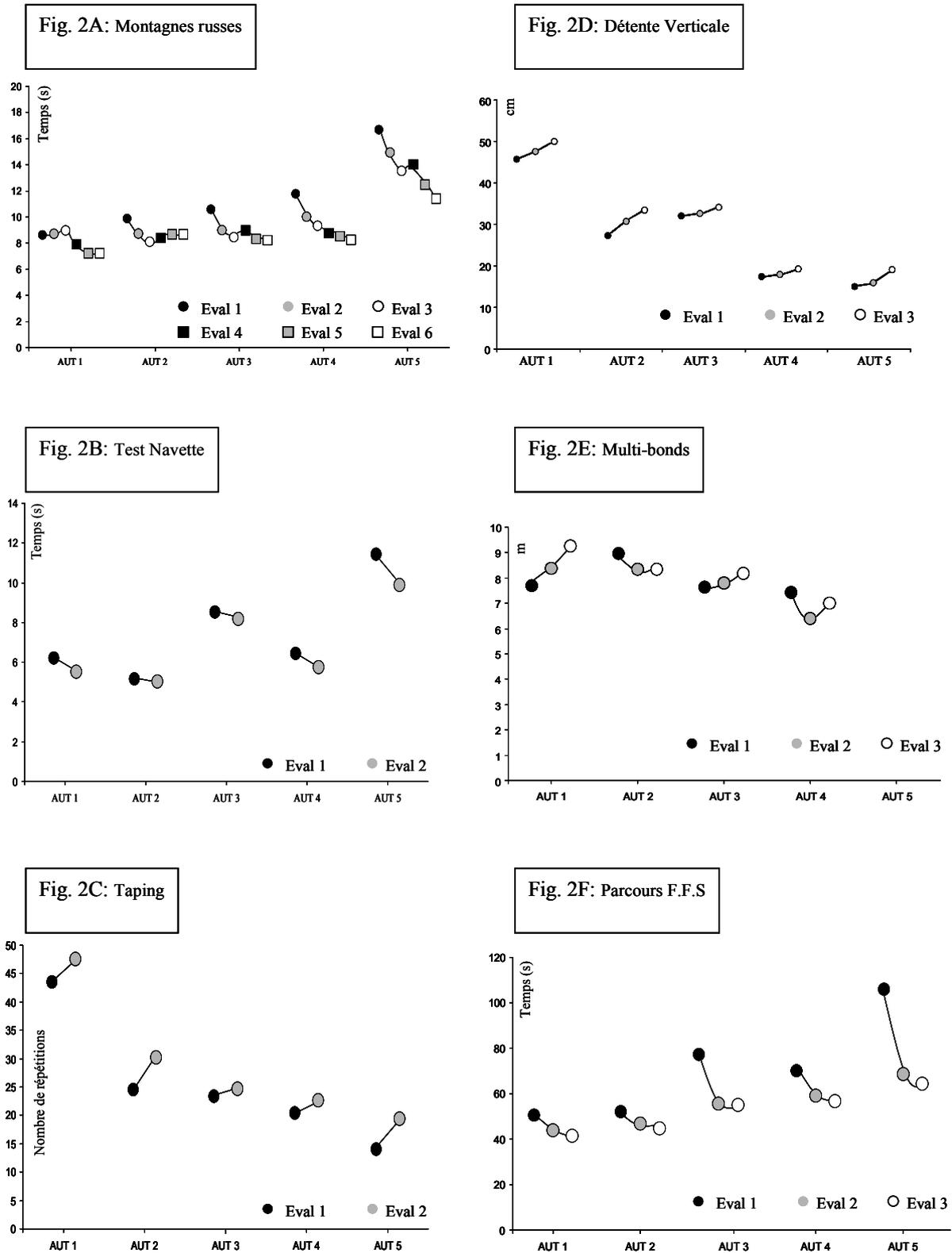
L'ensemble des résultats obtenus dans ce travail semble aller dans le sens attendu d'un effet positif de l'apprentissage par un travail spécifique de motricité associé à l'usage d'imitation provoquée. Il existe en effet une amélioration des performances, pour l'ensemble des sujets, quel que soit leur niveau de départ. Une importante variabilité interindividuelle est cependant retrouvée pour l'ensemble des tests, liée très probablement aux caractéristiques physiologiques des sujets : différence d'âge en particulier entraînant inévitablement des résultats très différents sur des tests qui requièrent des capacités de force et d'endurance encore insuffisamment développées chez les plus jeunes.

Le dispositif d'intervention en salle permet de transformer la technique de ski du jeune autiste. Entre le début et la fin de cette prise en charge, il est observé une amélioration de l'attitude globale du skieur, avec une projection du centre de gravité plus centrée et équilibrée au-dessus des pieds, mais aussi une gestuelle plus fine et moins heurtée, ainsi qu'une attitude sur les skis moins défensive et plus active. Il est possible que la mise en place d'une préparation physique spécifique avant chaque saison hivernale, reposant sur une automatisation des séquences motrices par l'apprentissage et par l'usage de l'imitation provoquée pour stimuler l'attention des enfants, puisse aboutir à l'apprentissage d'un ski plus facile, permettant un déplacement plus aisé dans un environnement que l'autiste appréhenderait de mieux en mieux. Avec une capacité d'adaptation au terrain plus élevée et donc une meilleure autonomie de déplacement sur les pistes, une plus grande intégration dans les clubs ordinaires pourrait même être envisagée, et plus largement la promotion de l'activité sportive chez les autistes pourrait être encore davantage développée.

Quelques travaux ont ainsi rapporté les effets bénéfiques de l'activité physique pour ces jeunes autistes, mais les résultats restent encore rares [4, 5, 6]. Cependant, la vue d'ensemble qui émerge des travaux publiés à ce jour montre un consensus : l'exercice physique régulier et encadré n'augmente pas seulement la condition physique des enfants avec autisme, mais réduit aussi les patterns des comportements inadaptés tels que les stéréotypies, les comportements agressifs, ou d'automutilation [7]. Une des hypothèses avancées expliquant ces améliorations repose sur la stimulation physique et cognitive permanente des sujets autistes [7].

**Figures 1 : Résultats groupe entier****Fig. 1 – Résultats groupe entier.**

**Figures 2:** *Résultats individuel au cours de la prise en charge par l'activité physique*



**Fig. 2** – Résultats individuels au cours de la prise en charge par l'activité physique.

Silhouette de base attendue en classe 2 :

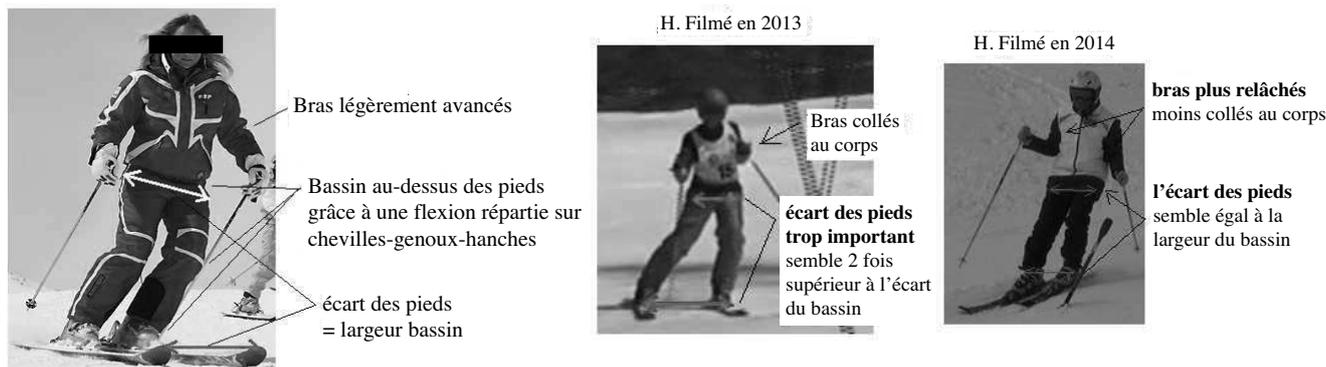


Fig. 3 – Silhouettes attendues et observées.

Dans ce cadre, les effets d'une activité physique contrôlée, organisée et régulière semble pouvoir répondre à ces objectifs de socialisation d'une part et de bénéfice pour la santé d'autre part [4].

#### Limites de l'étude

De nombreux biais de recherche sont visibles dans ce travail : le faible effectif de l'échantillon, l'absence d'un groupe contrôle sans entraînement, l'hétérogénéité des caractéristiques des participants (biométriques, cognitives, niveau de pratique). La mesure de l'effet de l'apprentissage par répétition en parallèle de l'apprentissage sur le terrain sont encore des critères qu'il faudra affiner pour permettre des conclusions plus pertinentes.

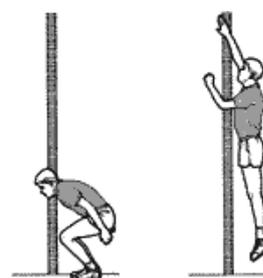
#### Conclusion

La prise en charge des enfants avec autisme par l'activité physique d'une part et par l'usage de méthodes pédagogiques utilisant les principes de l'éducation structurée (structuration du temps et de l'espace, décomposition du mouvement en gestes simples et matérialisation visuelle) et de l'imitation provoquée d'autre part, semble contribuer à transformer la technique de ski de l'autiste. La préparation physique spécifique complète par ailleurs fortement la prise en charge des jeunes skieurs, contribuant à les stimuler continuellement pour favoriser l'automatisation de séquences motrices qui permet ensuite de focaliser l'attention des jeunes sur des demandes plus précises telles que celles utilisant l'imitation au cours des apprentissages.

#### ANNEXES

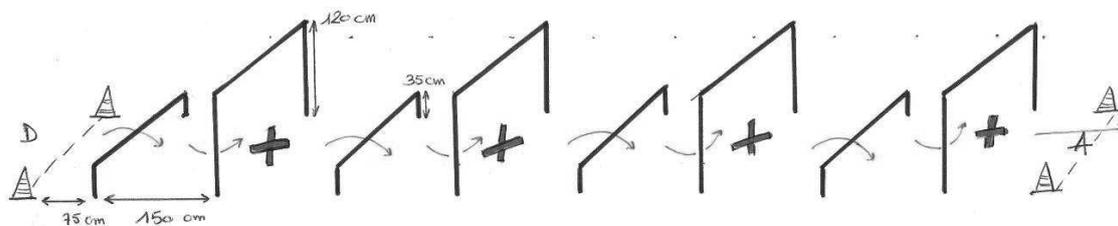
**TEST N°1** Les « montagnes russes » : Une série de cinq haies hautes (120 cm) et cinq haies basses (35 cm) alternées une sur deux, disposées sur 16 m 50 à raison d'une haie tous les 1,50 m. La performance est évaluée par chronométrage.

**TEST N°2** Détente verticale (force explosive) : Contre un mur gradué tous les centimètres, le sujet de profil au mur, appose une première marque en tendant simplement le bras le plus haut possible (pieds à plat). Après une prise d'élan avec les bras et une flexion des jambes, le sujet saute le plus haut possible et appose avec la main une deuxième marque. La différence entre ces deux marques mesure la détente verticale du participant. Celui-ci a droit à deux essais consécutifs. Consigne : « sauter le plus haut possible ».

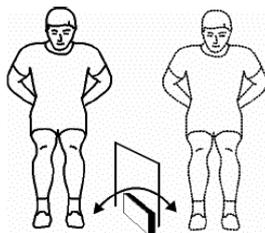


Test N°2

**TEST N°3** Le taping (endurance force) : Le but est de sauter latéralement de part et d'autre d'une haie de 40 cm en touchant les deux pieds au sol simultanément. Le test se déroule sur 40 s : l'intervenant compte le nombre de touches sur 15 s, repos pendant 10 s, puis à nouveau 15 s de bonds comptabilisés. Le sujet a droit à deux essais (temps de récupération : 3 mn entre deux essais). Consigne : « Faire le plus de bonds possibles sans renverser la barre ».



Test N°1



Test N°3

**TEST N°4** Multibonds (détente horizontale) : Le but est de réaliser la plus grande distance possible en réussissant cinq sauts pieds joints, sans élan. A l'aide d'un décimètre déroulé sur environ 12 m, la longueur de chaque saut et la distance totale parcourue sont mesurées. Deux essais par personne. Pour encourager chaque participant à s'améliorer, on place les repères de sa performance précédente pour chacun des sauts, avec la consigne d'essayer de les dépasser. Le mouvement se découpe en trois phases, la combinaison de ces trois mouvements est complexe et demande une grande concentration, de la coordination et une motivation à dépasser son propre record.



Test N°4

**TEST N°5** Le Parcours FFS Adapté : Ce parcours est tiré du protocole « Directives Techniques Nationales de Préparation Physique de la Fédération Française de Ski », il est testé trois fois au cours de l'étude. Rapidité, précision, coordination et équilibre sont les qualités nécessaires à sa réussite. Nous l'avons ici adapté aux capacités des sujets en simplifiant les ateliers, en en réduisant le nombre et en ajoutant des repères au sol pour faciliter le repérage dans l'espace et le rappel des consignes.

**TEST N°6** Le test navette (vitesse-coordination) : Le test se déroule sur un couloir, Consignes : « faire trois longueurs le plus vite possible, obligation de passer au moins un pied derrière la ligne ». Le temps sera relevé par chronométrage.

Deux essais avec au moins 3 mn de récupération entre deux essais.



Test N°6

## Références

- [1] Gepner, B., C. Deruelle, and S. Grynfeldt, Motion and emotion : a novel approach to the study of face processing by young autistic children. *J Autism Dev Disord*, 2001. 31(1) : p. 37-45.
- [2] Nadel, J., Imitation et autisme. Développement du bébé et de l'enfant avec autisme. Dunod ed, ed. *Psychothérapies*. 2011, Paris : Dunod. 213.
- [3] Gepner, B. and F. Feron, Autism : a world changing too fast for a mis-wired brain ? *Neurosci Biobehav Rev*, 2009. 33(8) : p. 1227-42.
- [4] Pitetti, K.H., et al., The efficacy of a 9-month treadmill walking program on the exercise capacity and weight reduction for adolescents with severe autism. *Journal of Autism Developmental Disorders*, 2007. 37(6) : p. 997-1006.
- [5] Lotan, M., E. Isakov, and J. Merrick, Improving functional skills and physical fitness in children with Rett syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research* 2004. 48(Pt 8) : p. 730-5.
- [6] Yilmaz, I., et al., Effects of swimming training on physical fitness and water orientation in autism. *Pediatr Int*, 2004. 46(5) : p. 624-6.
- [7] Fragala-Pinkham, M.A., S.M. Haley, and M.E. O'Neil, Group swimming and aquatic exercise programme for children with autism spectrum disorders : a pilot study. *Dev Neurorehabil*, 2011. 14(4) : p. 230-41.
- [8] Lancioni, G.E. and M.F. O'Reilly, A review of research on physical exercise with people with severe and profound developmental disabilities. *Res Dev Disabil*, 1998. 19(6) : p. 477-92.



# L'imitation : un partage moteur au service du développement

Jacqueline Nadel<sup>1</sup>

**L**E répertoire moteur est à la base de toute imitation. Comment cette quasi-tautologie a-t-elle pu être oubliée au point que l'on a pu conclure à une incapacité spécifique à imiter dans l'autisme (cf. [8, 42] et tant d'autres) sans vérifier les capacités motrices de la personne et leur adéquation aux performances demandées ?

Le constat de simple bon sens fait en son temps par Piaget [30] et selon lequel le développement de l'imitation suit le développement de la motricité a été perdu de vue, sans doute en raison du fait que les formes les plus cognitives de l'imitation ont été privilégiées. Car l'imitation prend beaucoup de formes diverses qui impliquent des capacités différentes, et il vaudrait mieux parler d'imitations au pluriel plutôt que d'Imitation avec un grand i. Mais quelle que soit la forme, le répertoire moteur engagé dans l'imitation a ceci de particulier qu'il est en partage : en effet l'imitation consiste à relier ses patterns moteurs (ou leur représentation) à ceux d'autrui. D'où le fait que les deux grandes fonctions de l'imitation, la communication et l'apprentissage, ont des bases sociales.

## Le développement typique de l'imitation

*Imitation d'actions inscrites dans le répertoire moteur*

La reproduction de mouvements inscrits dans le répertoire moteur est la première forme d'imitation, et la plus basique. Elle est déjà observable chez le nouveau-né, d'emblée capable d'imiter des mouvements stockés dans son répertoire fœtal. Pas tous les mouvements de son répertoire cependant. A la naissance, les contraintes biologiques liées notamment à la pesanteur limitent l'expression du répertoire et de ce fait l'imitation. Une fois le maintien de la tête conquis et les premières préhensions réalisées, des actions impliquant un objet peuvent être imitées vers 6 mois, à condition là encore qu'elles soient inscrites dans le répertoire d'actions que le bébé est en train d'acquérir au fur et à mesure de ses expériences d'interaction avec le monde physique.

Il peut paraître d'intérêt limité de reproduire, au gré de la perception, des actions motrices qui sont déjà stockées dans le répertoire. Et cependant, cette forme basique d'imitation est un puissant levier d'acquisitions. Elle comporte trois types de bénéfices, tous trois capitaux pour le développement : un bénéfice moteur, un bénéfice social et un bénéfice de conscience de soi.

### - Bénéfice moteur

Reproduire des mouvements ou des actions déjà inscrits dans le répertoire produit une consolidation des traces motrices et une automatisation du répertoire qui en permet le rappel aisé par l'intermédiaire de la perception. Plus l'action est automatisée, plus le rappel est facilité. Lors de l'observation d'action, on relève une activation similaire à la production non seulement dans le cortex prémoteur mais aussi dans le cortex moteur primaire et le cortex primaire somatosensoriel [33]. Ceci suggère que les mouvements et leurs composantes proprioceptives et somatotopiques sont stockés en tant que représentations motrices et somato-sensorielles et que ces représentations sont rappelées durant l'observation d'action : ainsi, nous reconnaissons sans doute l'action pendant que nous l'exécutons, et nous « répétons » une action en l'observant. De ce fait en imitant des actions qu'ils ont dans leur répertoire, les jeunes enfants exercent leur imagerie motrice. Ceci pourrait expliquer pourquoi l'imitation d'actions familières précède au cours du développement l'imitation d'actions nouvelles : il serait nécessaire d'avoir stocké et d'avoir pu rappeler (sous contrôle visuel ou auditif) suffisamment de représentations motrices, pour pouvoir les recombinaison en imitation d'actions nouvelles.

### - Bénéfice social

Quel bénéfice social urgent peut-il bien y avoir à imiter ce que l'on sait déjà faire ? Pourquoi nos jeunes enfants sont-ils si intéressés par ce type d'imitation et le pratiquent-ils entre eux à chaque fois qu'ils le peuvent ? L'avantage pourrait bien être double. Il réside tout d'abord dans le fait que l'imitation immé-

1. CNRS Centre Emotion, ICM, Université Pierre et Marie Curie Hôpital de la Salpêtrière, Paris

diante inclut un public. Or ce public n'est pas n'importe lequel : il s'agit de celui ou celle qu'on imite, du propriétaire de l'action qui accepte en somme de nous céder la co-propriété. Pourquoi fait-il cela ? Il a reconnu la coïncidence entre son action et celle de son partenaire et il mesure l'attention et l'intérêt portés à son action par l'autre. Notre équipe a pu montrer récemment qu'être imité agit comme une bouffée d'ocytocine, cette « hormone » de l'attachement [7]. Être imité agit comme une récompense, à laquelle même l'adulte est sensible [6]. De ce fait, nos afférences proprioceptives et nos afférences visuelles (ou/et auditives et tactiles) coïncident, et nous en ressentons les effets ensemble. Cette harmonie des effets explique pourquoi dès 18 mois les enfants savent tirer avantage des deux facettes de l'imitation « imiter » et « être imité ». Ils en font deux rôles qu'ils distribuent et qu'ils alternent tout en maintenant une synchronie de leurs comportements [28a]. L'importance qu'il y a à permettre aux enfants avec TSA d'exercer ce registre tient au bénéfice social qu'il engendre et aux paramètres de communication qu'il développe.

#### - Bénéfice pour la conscience de soi

En tant que co-propriété de l'action, l'imitateur fait sienne une action proposée par quelqu'un d'autre, et ce quelqu'un, propriétaire de l'action, admet de la partager avec l'imitateur puisque les voilà tous les deux auteurs et responsables de la même action. Alternier « imiter » et « être imité » est une voie royale pour activer en chacun la différence de rôle : c'est moi qui inspire ce que fait l'autre, se dit celui qui est imité, c'est l'autre qui inspire mon action, se dit l'imitateur. Cette différence est particulièrement subtile puisque dans l'imitation synchrone les partenaires font la même chose en même temps. C'est l'asymétrie des rôles qui engendre cette distinction moi-l'autre par-delà la communauté du couplage entre la perception et l'action. Cette asymétrie est-elle marquée au niveau cérébral ? Dans une expérimentation en hyperélectroencéphalographie durant laquelle des duos d'adultes enregistrés s'imitaient en synchronie, nous avons voulu explorer la question de savoir si le cerveau « sait » qui imite qui (« *Does the brain know who imitates whom ?* » : [9]). La réponse est oui. Puisqu'il y a une modulation des rythmes pour le même individu selon qu'il imite ou qu'il est imité.

#### Imitation d'actions nouvelles

Lorsque l'on apprend des actions nouvelles par observation, le bénéfice est clair pour l'individu et pour l'espèce : il s'agit de l'acquisition culturelle de savoir-faire [40], mais aussi d'une réorganisation de son répertoire. En effet, apprendre de nouvelles actions suppose d'exploiter ce qui est acquis en le re-composant. D'après [29], la nouveauté peut se définir comme le fait d'assembler les parties de son corps en une nouvelle unité fonctionnelle (trad. JN). Une telle recombinaison est sans nul doute une composante primordiale de l'apprentissage par observation. Quand cette forme d'imitation apparaît-elle chez le jeune enfant ? Voilà une question qui est restée longtemps sans réponse.

Les recherches récentes indiquent que rien n'est possible avant 9 mois, car à cet âge les bébés peuvent seulement anticiper les effets d'une action familière [10]. Or pour apprendre une action nouvelle par observation il faut anticiper ses effets [2, 19]. Esseily, Nadel & Fagard [12] ajoutent qu'entre 10 et 12 mois les bébés peuvent imiter une action nouvelle dix minutes plus tard : mais qu'en reste-t-il au long terme ?

Provasi et collègues [31] concluent que les bébés ne peuvent pas apprendre les relations action-effet avant 12 mois. Dans le même sens, les résultats de Carpenter, Nagell et Tomasello [5] indiquent que c'est aux alentours de 12 mois que les bébés commencent à s'attendre à l'effet d'une action qu'ils ont observée précédemment. Une autre composante importante de ce type d'imitation concerne la complexité de l'action, définie par le nombre de sous-butts réalisés. Chaque sous-but doit être compris à la fois dans son effet propre et comme une étape du but final. Dans des conditions optimales, des bébés de 12 à 15 mois peuvent reproduire une action nouvelle composée de trois sous-butts. Un tableau (Tableau 1) résume la progression typique des capacités d'imitation durant les deux premières années.

Comme on peut le déduire de ce qui précède, l'enfant acquiert lentement la capacité à imiter une action nouvelle longtemps après l'avoir observée. C'est que cette capacité réclame un large répertoire de mouvements encodés comme éléments d'actions finalisées. Et cela ne suffit pas. Il faut en outre avoir un bon bagage concernant les effets divers que peuvent provoquer les actions, être capable d'anticiper ces effets et avoir une imagerie motrice permettant la recombinaison des mouvements et des actions stockés en de nouvelles actions donnant de nouveaux

effets. Est-il possible d'attendre de telles capacités des enfants avec autisme, en particulier des enfants de niveau de fonctionnement limité ?

### Que peut-on dire de l'imitation des enfants avec TSA ?

#### *Déficit d'imitation et « miroirs brisés »*

La thèse d'un déficit général dans le domaine de l'imitation et de l'apprentissage dans l'autisme a été accréditée d'emblée par l'étude, pourtant peu contrôlée, réalisée par DeMyer et collègues [8], bientôt appuyée par de nombreuses recherches hétérogènes dans leur méthodologie et dans le type d'imitation concerné [20, 36, 42]. Greffée sur les résultats de ces études, la théorie des « miroirs brisés » se développe. L'équipe de Rizzolatti a montré une similitude d'activités cérébrales lors de la production d'action et lors de son observation [34]. Comme il faut observer une action pour l'imiter, il est vite devenu évident que le réseau miroir est impliqué dans l'imitation. Et si l'imitation est déficitaire dans le TSA, c'est donc que les neurones miroirs dysfonctionnent [32]. Cependant, des recherches plus récentes montrent que les performances en imitation varient selon le type d'imitation [24]. Par exemple l'imitation « automatique » est intacte dans le TSA [4], de même que l'imitation de tâches de grasping impliquant directement le système miroir [17], et l'imitation d'actions familières est utilisée même par des enfants non verbaux de niveau de fonctionnement limité [28f]. Il y a donc nécessité de faire une description plus discriminative du dysfonctionnement prétendu. En particulier, de se poser les questions suivantes : peut-on reconnaître être imité et imiter autrui dans le cas de TSA ? Si oui, la communication par l'imitation devrait être accessible. Est-il possible d'apprendre par observation ? Y a-t-il possibilité de gagner une compréhension des effets de l'action ? La reproduction est-elle guidée par l'observation des moyens ou par l'observation des buts ? L'importance de ces questions est évidente au plan d'une éducation de la motricité comme au niveau cognitif et social.

#### *Peut-on reconnaître être imité et imiter autrui dans le cas de TSA ?*

Nous avons réalisé une série d'expériences destinées à analyser tout à la fois la capacité à déceler si le partenaire est synchronisé, la capacité à reconnaître être imité, et la capacité à comprendre que l'imitateur est intentionnel. Ces expériences ont été répliquées et sont concluantes [28d] : la plupart des enfants avec TSA, même de fonctionnement cognitif

très limité sont capables d'imiter spontanément des actions inscrites dans leur répertoire, et manifestent leur plaisir et leur intérêt d'être imités, soit en regardant l'adulte œil à œil, en le touchant, voire en l'embrassant (réponse émotionnelle de niveau 1), soit en changeant d'activité et en contrôlant que l'adulte fait de même (réponse cognitive de niveau 2), soit en imitant à son tour (réponse interactive de niveau 3). Dans tous les cas, le comportement devient affiliatif [14, 18, 28c, 28b]. L'enfant est prêt ensuite à imiter spontanément et un tour de parole peut s'ensuivre après entraînement [38].

#### *Est-il possible d'apprendre par observation dans le cas d'autisme ?*

En l'absence de toute littérature sur l'apprentissage par observation, nous avons exploré la question dans une étude où les enfants devaient apprendre à ouvrir une boîte en observant une démonstration vidéo. Les enfants étaient suivis pendant 9 jours comprenant 3 périodes de test : un test avant la démonstration, servant de ligne de base, un test 24 heures après la démonstration et un autre test 8 jours après. Si nécessaire, une deuxième démonstration était présentée le huitième jour, suivie 24 heures plus tard d'un quatrième test. La tâche consistait à apprendre par observation à ouvrir une boîte que nous avons conçue pour présenter de multiples ouvertures hiérarchiquement visibles (i.e. : on ne voit le loquet qu'une fois le couvercle ouvert, etc.). La boîte était présentée sans indication particulière autre que « tu peux l'ouvrir ». L'ouverture complète de la boîte et l'extraction d'un bonbon requérant d'aller « à la pêche » avec un petit instrument adéquat, ne pouvait être réussie d'emblée. Suivait alors une démonstration sur écran vidéo. Vingt quatre heures se passaient sans toucher à la boîte puis celle-ci était présentée à l'enfant. Le même procédé était utilisé 8 jours après. Quatre groupes d'enfants étaient concernés par la tâche : 2 groupes d'enfants typiques de 2 et 3 ans, et 2 groupes d'enfants avec TSA d'âge développemental 2 ans ou 3 ans.

Deux types de scores étaient calculés : l'un comptabilisant les sous-buts réussis (enlever le couvercle, soulever le loquet, ouvrir la boîte, plonger l'outil du bon côté dans le cylindre, etc.), l'autre les actions pertinentes (même si elles n'aboutissaient pas à accomplir le sous-but). Nous avons montré que les deux types de scores diffèrent nettement pour les jeunes avec TSA, tandis qu'ils sont similaires pour les jeunes enfants typiques. En d'autres termes, les

actions pertinentes aboutissent à réaliser les sous-buts pour ces derniers tandis que ce n'est pas le cas pour les enfants avec TSA.

Plus même, les scores pour les actions pertinentes sont similaires pour les deux groupes de chaque âge, avec un détail frappant : les deux groupes de 2 ans d'âge développemental progressent significativement non pas après 24 heures mais après 8 jours sans nouvelle démonstration. Pourquoi pas après 24 heures ? La seule explication tenable est qu'ils ont réorganisé leur représentation motrice de la tâche après leur échec à 24 heures. Ceci est déjà une excellente nouvelle concernant les capacités de représentations motrices des enfants avec autisme. Les 36 mois d'âge développemental progressent similairement en actions pertinentes dès 24 heures, réalisant ainsi un véritable apprentissage par observation puisqu'ils progressent après avoir vu sans faire. Mais il s'agit là d'un apprentissage des moyens pour accéder aux sous-buts.

Quand les scores aux sous-buts sont comparés, il apparaît une différence entre groupes qui ne peut être imputée qu'à une difficulté à concevoir les buts de l'action (donc ses effets) [28g]. Avec une deuxième démonstration, les problèmes s'aplanissent, comme si la question de l'anticipation du but se réglait sur la base d'une répétition de l'action : les effets ne sont pas anticipés, mais ils peuvent être appris. Ou plutôt, il y a certainement des effets anticipés, mais qui concernent des impressions sensorielles et non des conséquences fonctionnelles extérieures à l'individu. Peut-être le répertoire des actions stockées évoque-t-il surtout des impressions subjectives plutôt que des informations objectives liées à l'utilisation fonctionnelle des actions. Si tel est le cas, l'imitation apparaît comme un moyen simple et extrêmement efficace pour associer ces deux types de répertoire.

*Un outil pour évaluer l'imitation et l'exercer à bon escient*

Basée sur les étapes développementales de l'imitation (Tableau 1), un outil d'évaluation a été créé. Cet outil permet de saisir la capacité d'imitation spontanée, la capacité d'imitation sur demande et la capacité à reconnaître être imité [28g]<sup>1</sup>. Ainsi peut-on évaluer à la fois les capacités de communication à base de partage moteur, les capacités à imiter des actions nouvelles, et les capacités à enchaîner des séquences d'action. On peut en outre pronostiquer si l'enfant sera capable de bénéficier du système non

verbal de communication par l'alternance imiter-être imité. C'est à partir de ce bilan que peut être mise en œuvre notre thérapie de développement par l'imitation. Il ne s'agit pas d'une thérapie généraliste comme la thérapie d'échange et de développement (TED : [1], le modèle de Denver [37], traduction : Rogé, 2014), ou l'ABA [23]. Elle se focalise de façon intensive sur l'exercice de l'apprentissage par observation et du tour de rôle imiter/être imité en tant que communication gestuelle propice à l'accès au langage. Ce faisant, elle s'adapte à la carte, elle s'accommode de plusieurs chemins de développement et de nombreux niveaux puisqu'elle utilise le répertoire de chacun pour qu'il se développe par lui-même.

*Pour finir*

Il faut comprendre l'imitation comme un voyage moteur. Elle nous permet de visiter la motricité de l'autre et de s'en inspirer pour en faire quelque chose d'autre qui n'appartient qu'à nous.

1. L'échelle est disponible sur simple demande

**Tableau 1** - Les étapes développementales de l'imitation**DEVELOPPEMENT DE L'IMITATION**

- 1) **À la naissance**, imitation de mouvements faciaux humains présentés in vivo de type protrusion de la langue et ouvertures de la bouche [27], clignements d'yeux [22], expressions faciales [15], présentés en 2-D avec modèle humain ou robotique sur écran [39]
  - 2) **À 1 mois**, début des auto-imitations exerçant le couplage entre perception et action [35]
  - 3) **À 2 mois**, imitation de mouvements de la tête, du buste, des bras et des mains [28e]
  - 4) **À 3 mois**, imitation de trajectoire sur le corps [28e]
  - 5) **À 6 mois**, imitation d'actions familières simples avec des objets familiers [2, 9b], imitation différée de 24 heures dans des conditions de répétition de l'acte-modèle ou de renforcement [2]
  - 6) **À 9 mois**, imitation d'actions familières avec des objets non familiers [25], premiers apprentissages par observation seule [41]; reproduction de l'action mais pas du but [10]
- Important changement **entre 9 et 12 mois** [13] –
- 7) **À 10 mois**, début d'imitation du but d'une action [12]
  - 8) **À 12 mois**, imitation de l'action et du but de l'action [5]; imitation de 2 actions simples familières enchaînées et de gestes bi-manuels [2, 9b].
  - 9) **À 14 mois**, imitation réussie d'une action-modèle ratée : compréhension de l'intention d'une action [26], manifestant ainsi que sont établies des relations d'affordance entre objet et action.
  - 10) **À 18 mois**, imitation d'actions complexes enchaînant au moins 3 actions familières simples [2]
  - 11) **À 21 mois**, imitation d'actions contrevenant à l'apprentissage culturel [21]
  - 12) **À 24 mois**, imitation de deux actions enchaînées portant sur un objet nouveau 24 heures après observation [10, 28g]

can Journal of Physical Medicine, 65(1), 1-16.

- [2] Barr, R., Dowden, A. & Hayne, H. (1996) 'Developmental Changes in Deferred Imitation by 6-to 24-Month-Old Infants'. *Infant Behaviour and Development* 19 : 159-170.
- [3] Barthélémy, C., Hameury, L., & Lelord, G. (1995). La thérapie d'échange et de développement dans l'autisme de l'enfant. Paris : Expansion Scientifique Française
- [4] Bird, G., Leighton, J., Press, C. & Heyes, C. (2007). Intact Automatic Imitation of Human and Robot Actions in Autism Spectrum Disorders. *Proceedings of Biological Science* 274(1628) : 3027-3031.
- [5] Carpenter, M., Nagell, K. & Tomasello, M. (1998). Social Cognition, Joint Attention, and Communicative Competence from 9 to 15 Months of Age. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 63, 4 : 1-143.
- [6] Chartrand, T.L., & Bargh, J.A. (1999). The chameleon effect : the perception-behavior link and social interaction. *J. Pers. Soc. Psychology*, 76, 893-910.
- [7] Delaveau, P., Arzounian, X., Rotgé, J-Y, Nadel, J., & Foshati, P. (2015). Does imitation act as an Oxytocin nebulizer in autism spectrum disorder ? *Brain*, doi : 10.1093/brain/awv060.
- [8] DeMyer, M., Alpern, G., Barton, S., DeMyer, W., Churchill, D., Hintgen, J., Bryson, C., Pontius, W., & Kimberlin, C. (1972). Imitation in autistic, early schizophrenic and non-psychotic children. *Journal of autism and childhood Schizophrenia*, 2, 264-287.
- [9] Dumas, Martinerie, Soussignan & Nadel (2012). Does the brain know who imitates whom ? *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 128.
- [9b] Dunst, C. J., (1980) *A Clinical and Educational Manual for Use with the Uzgiris and Hunt Scales of Infant Psychological Development*, University of Minnesota.
- [10] Elsner, B. (2007) *Infants' Imitation of Goal-Directed Actions : The Role of Movements and Action Effects*. *Acta Psychologica* 124(1) : 44-59.
- [11] Elsner, B., Hauf, P., & Aschersleben, G. (2007). Imitation Stepp by Stepp : a detailed analysis of 9-to15 month-olds' reproduction of a three-step action sequence. *Infant Behaviour and Development*, 30, 325-335.
- [12] Esseily, R., Nadel, J. & Fagard, J. (2010). Object Retrieval through Observational Learning in 8- to 18-Month-Old Infants. *Infant Behaviour and Development* 33 : 695-699.
- [13] Fagard, J., & Lockman, J. (2010). Change in imitation for object manipulation between 10 and 12 months of age. *Developmental psychobiology*, 53, 90-99.
- [14] Field, T., Field, T. Sanders, C., & Nadel, J. (2001). Children with autism display more social behaviour after repeated imitation sessions. *Autism*, 5, 317-323.
- [15] Field, Woodson, R., Greenberg, R., & Cohen, C. (1982). Discrimination and imitation of facial expressions by neonates. *Science*, 218, 179-182.
- [16] Gonzalez-Rothi, I., Ochipa, C., & Heilman, R. (1991). A cognitive neuropsychological model of limb praxis. *Cognitive neuropsychology*, 8, 443-458

**Références**

- [1] Arsenault, A. B., Winter, D. A., & Marteniuk, R. G. (1986). Bilateralism of EMG profiles in human locomotion. *American Journal of Physical Medicine*, 65(1), 1-16.

- [17] Hamilton, A.F., Bradley, R.M. & Frith, U. (2007) Imitation and Action Understanding in Autistic Spectrum Disorder : How Valid Is the Hypothesis of a Deficit in the Mirror Neuron System ? *Neuropsychologia* 45(8) : 1859–1868.
- [18] Heimann, M., Laberg, K., & Nordoen, B. (2006). Imitative interaction increases social interest and elicited imitation in non verbal children with autism. *Infant and Child Development*, 15, 297-309.
- [19] Herbert, J., Gross, J. & Hayne, H. (2006) Age-Related Changes in Deferred Imitation between 6 and 9 Months of Age, *Infant Behaviour and Development* 29(1) : 136–139.
- [20] Hobson, R.P. & Lee, A. (1999) 'Imitation and Identification in Autism', *The Journal of Child Psychology and Psychiatry* 40(4) : 649–659.
- [21] Killen, M., & Uzgiris, I. (1981). Imitation of actions with objects : the role of social meaning. *Journal of Genetic Psychology*, 138, 219-229.
- [22] Kugiumutzakis, G. (1999). Genesis and development of early infant mimesis to facial and vocal models . In J. Nadel & G. Butterworth (Eds.), *Imitation in infancy* (pp. 36-59). Cambridge : Cambridge University Press.
- [23] Maurice, C., Green, G. & Luce, S. (Eds.) (1996). Behavioral interventions for young children with autism. A manual for parents and professionals. Austin, TX : Pro-Ed, Inc.
- [24] McDuffie, A., Turner, L., Stone, W., Yoder, P., Wolery, M. & Ulman, T. (2007). Developmental correlates of different types of motor imitation in young children with Autism Spectrum Disorder, *Journal of Autism and Developmental Disorders* 37, 3, 401–412.
- [25] Meltzoff, A.N. (1985). Immediate and deferred imitation in fourteen- and twenty-four- month-old infants. *Child Development*, 56, 62-72.
- [26] Meltzoff, A.N. (1995). What infant memory tells us about infantile amnesia : long-term recall and deferred imitation. *Journal of Experimental Child Psychology* 59, 497-515.
- [27] Meltzoff, A.N., & Moore, M. (1977). Newborn infants imitate adult facial gestures. *Science*, 198, 75-78.
- [28a] Nadel, J. (1986). Imitation et communication entre jeunes enfants. Paris : PUF
- [28b] Nadel, J., Croue, S., Mattlinger, M-J. et al. (2000). Do children with autism have ontological expectancies concerning human behaviour ? : A pilot study. *Autism*, 4, 2, 133-145.
- [28c] Nadel, J. (2001). Chercher l'enfant, trouver l'humain. *Enfance*, 53, 67-74
- [28d] Nadel, J. (2002). Imitation and imitation recognition : functional use in preverbal infants and nonverbal children with autism. In : Meltzoff, AN, & Prinz, W. (Eds.), *The imitative mind : development, evolution, and brain bases* (pp. 42-62). . Cambridge : Cambridge University Press.
- [28e] Nadel, J., & Potier, C. (2002). Imiter et être imité dans le développement de l'intentionnalité. In J. Nadel & J. Decety (Eds.), *Imiter pour découvrir l'humain* (pp.83-104). Paris : Presses Universitaires de France.
- [28f] Nadel, J. (2006). Does imitation matter to children with autism ? In S. Rogers & J. Williams (Eds.), *Imitation and the development of the social mind : Lessons from typical development and autism* (pp. 118-137). New York : Guilford Publications.
- [28g] Nadel, J. (2011). *Imiter pour grandir*. Paris : Dunod
- [28h] Nadel, J., Aouka, N., Coulon, N., Gras-Vincendon, A., Canet, P., Fagard, J., & Bursztejn, C. (2011). Yes they can ! An approach to observational learning in low-functioning children with autism. *Autism*, 15, 2, 421-436
- [29] Newell, K.M. (1985). 'Coordination, Control and Skill. In D. Goodman, R. Wilberg & I. Franks (Eds.), *Differing Perspectives in Motor Learning, Memory and Control* (pp. 295–317). Amsterdam : North Holland
- [30] Piaget (1945). *La formation du symbole chez l'enfant*. Neuchâtel-Paris : Delachaux & Niestlé
- [31] Provasi, J., Dubon, C. & Bloch, H. (2001) 'Do 9- and 12-Month-Olds Learn Means-Ends Relation by Observing ?' *Infant Behaviour and Development* 24 : 195–213.
- [32] Ramachandran, V., & Oberman, L. (2006). Broken mirrors : A theory of autism. *Scientific American*, 295, 5 62-69.
- [33] Raos, V., Evangelidou, M.N. & Savaki, H.E. (2007). Mental simulation of action in the service of action perception. *Journal of Neuroscience* 27(46) : 12675–12683.
- [34] Rizzolatti G, Fadiga, I., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor action. *Brain Research* , 3, 131-141.
- [35] Rochat, P. (2002). Ego function of early imitation. In A.N. Meltzoff & W. Prinz (Eds.), *The imitative mind* ; Cambridge : Cambridge University Press.
- [36] Rogers, S.J. (1999). An Examination of the Imitation Deficit in Autism. In J. Nadel & G. Butterworth (Eds.), *Imitation in Infancy* (pp. 245–283). Cambridge : Cambridge University Press
- [37] Rogers, S., Dawson, G., & Vismara, L. (2012). *An Early Start for your Child with Autism*. (trad. Franc. Rogé, B., 2014, Paris : Dunod).
- [38] Scarpa, O. et al. (2012). Imiter pour communiquer sans mots dans le cas d'autisme : Une étude pilote. *Enfance*, 4, 389-410.
- [39] Soussignan, R., Cortial, A., Danon-Apter, G., Canet, P., & Nadel, J. (2011). Human newborns match tongue protrusion of disembodied human and robotic mouths. *Developmental Science*, 14, 2, 385-394
- [40] Tomasello, M. (2004). *Aux origines de la cognition humaine*. Paris : Odile Jacob.
- [41] Tomasello, M., Kruger, A., & Ratner, H. (1993). Cultural learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 495-552.
- [42] Williams, J.H., Whiten, A. & Singh, T. (2004) 'A Systematic Review of Action Imitation in Autistic Spectrum Disorder', *Journal of Autism and Developmental Disorders* 34(3) : 285–299.





## Notes de terrain

### « Sur la motricité dans le domaine de l'autisme »

Jean-Pierre Malen<sup>1</sup>, Christelle Vallès<sup>2</sup>

LES particularités motrices sont fréquemment retrouvées chez les autistes, de l'enfance à l'âge adulte. Il s'agit ici d'en faire une revue à partir de notre expérience au FAM « Le Cèdre Bleu » et, pour l'un d'entre nous, à l'IME « Cour de Venise ». Il s'agit de personnes ayant pour la plupart un retard cognitif et un autisme sévère, associés, dans une grande proportion, à une anomalie somatique repérée, (syndromes génétiques, grande prématurité, encéphalopathie, épilepsie résistante).

C'est dire qu'il ne s'agit pas ici d'autisme pur, mais existe-t-il ?

Dans l'histoire de la petite enfance chez nombre d'autistes, les anomalies motrices sont souvent évoquées par les parents comme un signe qui les a alertés. Dans leurs souvenirs, ils évoquent soit une hypotonie de fond, les bébés mous comme des poupées en tissu, ou au contraire des bébés en hyperextension dès la moindre sollicitation. Un autre signe souvent décrit est celui du bébé qui ne se love pas dans les bras de sa mère, ce qui correspond à des anomalies de l'ajustement tonique du bébé avec la personne qui le prend dans ses bras. Ces anomalies ont pu alerter les parents, chez certains elles ont, avec un peu de chance et la rencontre avec un pédiatre formé, permis de démarrer un processus de diagnostic et si possible un début de prise en charge. Chez d'autres (trop encore), elles n'ont pas été suffisamment prises en considération.

#### Les anomalies du tonus et de la motricité chez l'adolescent et chez l'adulte

##### Le regard :

L'absence (ou grande difficulté) d'accroche d'œil à œil chez le tout-petit, mais encore chez beaucoup d'adolescents et d'adultes, peut certes, à juste titre, évoquer une exploration anormale du visage. Mais la fréquence des anomalies de la motricité oculaire, le regard latéral qui parfois ne peut se dissocier du mouvement de la tête ou simplement anticiper celui-ci, le regard qui ne croise pas la ligne médiane, in-

terrogent sur la mise en place de la motricité oculaire. On retrouve également des spasmes possibles de l'accommodation ou une difficulté de la convergence.

##### La sphère orale :

La déglutition peut se révéler anormale avec des anomalies de la tétée, mais elle peut rester archaïque jusqu'à l'âge adulte. Les anomalies de la motricité de la sphère orale sont d'ailleurs assez fréquentes avec des dissymétries des tonus musculaires des masséters, une difficulté très souvent retrouvée pour mastiquer, gonfler les joues, souffler, sans parler du mouchage... Il faut également évoquer les vomissements fréquents, possiblement les régurgitations...

##### Les coordinations générales :

Le développement de la position assise, puis de la marche, peut être marqué par un retard, mais pas toujours, loin de là. Il peut même y avoir et c'est même relativement souvent, des acquisitions de la marche « anticipées ».

##### • La marche :

Quelle est la « qualité » de cette marche ? Il ne suffit pas qu'elle soit acquise, elle est souvent raide, mécanique. L'adaptation au terrain est souvent malaisée, la course saccadée. En un mot on peut parler « d'altérations qualitatives de la marche » comme on parle d'altérations qualitatives des interactions sociales. La position des bras dans la marche est souvent curieuse avec des bras repliés, sans, ou peu de balancements, les avant-bras pointés vers le ciel, jusqu'à la position connue du candélabre. La marche sur la pointe des pieds est tellement fréquente qu'il est inutile d'y insister.

##### • Le tonus :

La qualité du tonus est variable d'un autiste à l'autre et d'un secteur à un autre, (axial versus les membres), d'un moment à l'autre. Il n'est pas rare de voir une personne avec une grande hypotonie et très ralentie, passer brusquement à un mouvement très rapide avec une grande hypertonie. Le tonus peut se

1. Psychiatre, FAM le Cèdre Bleu (Chaville) et IME « Cour de Venise » (Paris)

2. Psychomotricienne, FAM le Cèdre Bleu (Chaville)

révéler hypotonique sur l'axe et hypertonique dans les membres. Le contraire se rencontre également. Il en va de même pour les stéréotypies gestuelles, le « flapping » ou les balancements du corps. Certes est évoqué, par des autistes de haut niveau, le caractère « apaisant » ou « indispensable », à un moment ou un autre de la journée, de ces stéréotypies. Faut-il les rapprocher des troubles obsessionnels compulsifs ? Ce qui ne fait que repousser la question des mécanismes sous-jacents. Faut-il les rapprocher des tics moteurs ? Ce qui pose la même interrogation.

Les outils d'évaluation de la motricité montrent le plus souvent un retard, certes moins important que dans d'autres secteurs, tels la communication, la socialisation, etc. Mais ce retard est rarement absent. Les motricités, fine et globale, ne sont habituellement pas homogènes dans leur développement. Même chez des autistes de haut niveau, la maladresse est souvent la norme. Il faudrait distinguer les mouvements simples et les mouvements nécessitant une planification, une adaptation instantanée à une situation changeante, une intégration à des modalités sensorielles multiples, etc.

Il est à noter que la conception de « *l'enfant autiste qui se replie sur lui-même pour échapper à la dépression de la mère* » pouvait, dans ce cadre, faire admettre la motricité atypique de l'autiste comme une originalité « psychomotrice ». Lorsque cette conception n'a plus de sens, maintenant et depuis longtemps, il est impossible de regarder cette anomalie ou ces anomalies sous cet angle.

### Les effets secondaires des neuroleptiques au plan moteur

- Les dystonies. Contractions de certains groupes de muscles notamment de la jambe ou des bras, contractions qui peuvent être déroutantes dans leurs expressions et sources de surhandicap temporaire.
- Les dyskinésies avec des mouvements de la langue, à type de protrusion, de mouvements des épaules, du cou, du tronc, des jambes. Dyskinésies qui peuvent se voir à tout moment d'un traitement neuroleptique et peuvent s'accroître à la diminution ou à l'arrêt.
- Les akathisies. Impossibilité de rester en place avec des mouvements incoercibles des jambes.
- Les plafonnements. Contractures des muscles de l'œil, causées par les neuroleptiques, qui sont en soi angoissantes et favorisées par la fatigue ou l'émotion.

Ces effets sont, me semble-t-il, beaucoup plus fréquents dans l'autisme que chez les schizophrènes à qui ont été prescrites les mêmes molécules. De plus, ils sont beaucoup moins bien supportés, entraînant souvent des troubles du comportement de type agitation avec auto- ou hétéro-agressivité. Cette sensibilité à ce type d'effets secondaires signe une vulnérabilité, probablement liée aux anomalies souvent décrites par de nombreux auteurs à partir de l'imagerie (IRM), l'imagerie fonctionnelle (IRMf), ou des données anatomopathologiques, etc. (anomalies du cervelet, des aires préfrontales, de l'amygdale, des thalamus, etc.)

### Les modalités d'action

Les constatations précédentes amènent à envisager différentes actions possibles :

Un examen clinique va permettre d'envisager pour certains, une *kinésithérapie* soit à visée thérapeutique (cyphoscoliose, maladie de Scheuermann, dystonies, etc.) soit à visée préventive pour lutter contre les déformations liées soit à des anomalies génétiques associées à l'autisme, comme c'est le cas dans différentes délétions ou duplications (près de 30% des autistes adultes avec retard cognitif important ont une pathologie génétique associée) soit à des mauvaises postures, attitudes ou effets en cascades des stéréotypies.

Pour d'autres, il faut envisager des consultations spécialisées en médecine de *rééducation fonctionnelle* avec prescription de semelles ou orthèses. Ces interventions peuvent être associées à une kinésithérapie.

L'*ostéopathie*, si elle ne soigne pas l'autisme, peut s'avérer utile quand est suspectée une douleur liée aux troubles moteurs.

La *psychomotricité* va permettre de repérer les difficultés motrices et proposer des modalités d'intervention. Les réussites, les échecs et les plaisirs ou déplaisirs sont évalués afin de pouvoir ajuster au mieux et individualiser autant que faire ce peut les propositions. La psychomotricienne propose des suivis, soit en balnéothérapie, en relaxation, en éducation motrice... Soit en individuel, en groupe, soit en salle, à l'extérieur, avec les supports les plus variés, susceptibles de mobiliser la personne à partir de ses goûts, etc.

Les différents champs visés par les interventions psychomotrices sont ici répertoriés sous la forme d'une check-list :

→ *le tonus*

- de fond : mobilisation, ballant
- d'action : syncinésies, chute des bras
- les types d'autostimulations
- hypertonie, hypotonie, impulsivité, hyperactivité, impossibilité de rester à la table pour des apprentissages

→ *les coordinations dynamiques générales*

- équilibres : pointe des pieds, sur un pied, marche sur un banc, monter un escalier en alternant les pieds
- sauts : cloche-pied, au-dessus d'une corde, sautiller sur place, trampoline
- marche, course
- ballon : attraper, coup de pied, lancer, viser une cible

→ *les coordinations oculo-manuelles*

- lancer, attraper une balle
- découper
- type de préhension : au contact, palmaire, pince
- coordination entre les deux mains
- visser/dévisser

→ *la latéralité*

- manuelle
- oculaire
- du pied

→ *le schéma corporel*

- somatognosie<sup>1</sup>
- dessin du bonhomme
- autocollants bonhomme
- accepte ou non la proximité
- imitation de gestes

→ *les structurations spatiale et temporelle*

- copie de figures, de formes
  - organisation spatiale / à soi, / à autrui, / aux objets
  - apparier des images
  - reproduction de structures temporelles
  - âge, date de naissance, temps social
- et aussi

→ *le jeu*

- faire semblant
- faire des constructions
- dessiner
- puzzle
- encastrement

→ *la sensorialité, et éventuelles particularités sensorielles*

- vue : regard, se savoir regarder, fixe/instable, contrôle visuel...
- toucher : toucher, être touché, sa qualité...
- ouïe : qualité sonore de la voix, mots, murmure...
- odorat : reniflement, recherche d'odeurs...
- vestibulaire : balancements...
- goût

## Conclusion

Les anomalies de la motricité au sens large que nous venons de passer en revue méritent d'être prises en compte chez la personne avec autisme quel que soit son âge, chez le petit enfant pour prévenir les cascades de répercussions de ces anomalies au plan cognitif, attentionnel, de l'interaction, du développement moteur ; mais elles sont également à prendre en compte chez l'adolescent et l'adulte pour tenter de les améliorer ou pour le moins d'éviter les conséquences en termes de limitation et de douleurs.

## Références

- [1] Barthélémy, C. & Bonnet-Brilhault, F. (2012). L'autisme : de l'enfance à l'âge adulte. Lavoisier. Médecine Sciences Publications, 205 p.
- [2] Chapeau, N. (2012). Partage d'une expérience en psychomotricité auprès d'adultes associant autisme et retard mental. *Evolutions psychomotrices*, Vol 24, n° 96, pp. 96-107.
- [3] Perrin, J. & Maffre, T. (Éds.), (2013). Autisme et psychomotricité. Bruxelles : De Boeck-Solal, coll. « Psychomotricité », 510 p.
- [4] Unapei, Arapi (collectif). (2007). L'autisme, où en est-on aujourd'hui ? Unapei, 122 p.
- [5] Unapei, Arapi, Ancra (collectif). (2013). Autisme : les recommandations de bonnes pratiques professionnelles - Savoir-être et savoir-faire. Unapei, 144 p.



1. Connaissance qu'un individu a de son corps.