



**HAL**  
open science

## Bénéfices de la danse dans les pathologies développementales du cervelet

Delphine Dellacherie, Valentin Bégel, Asaf Bachrach, Sylvain Clément, Alice  
Mary, Louis Vallée, Audrey Riquet, Simone Dalla Bella

► **To cite this version:**

Delphine Dellacherie, Valentin Bégel, Asaf Bachrach, Sylvain Clément, Alice Mary, et al.. Bénéfices de la danse dans les pathologies développementales du cervelet. 48èmes Entretiens de Médecine Physique et de Réadaptation, 2020, Montpellier, France. hal-02540103v1

**HAL Id: hal-02540103**

**<https://hal.univ-lille.fr/hal-02540103v1>**

Submitted on 16 Apr 2020 (v1), last revised 4 Sep 2020 (v2)

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

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

## **Bénéfices de la danse dans les pathologies développementales du cervelet**

D Dellacherie<sup>1,2</sup>, V Bégel<sup>1</sup>, A Bachrach<sup>3</sup>, S Clément<sup>1</sup>, A Mary<sup>2</sup>, L Vallée<sup>2</sup>, A Riquet<sup>2</sup>, S Dalla Bella<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>EA 4072 – PSITEC – Psychologie : Interactions, Temps, Émotions, Cognition, Université de Lille, F-59 653 Villeneuve d’Ascq Cedex, France

<sup>2</sup>Centre National de référence « Maladies rares » Trouble du Cervelet, Service de Neuropédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire de Lille, 59120 Loos, France

<sup>3</sup>UMR 7023 CNRS, Université de Paris 8, 75017 Paris, France

<sup>4</sup>Département de Psychologie, Université de Montréal, Montréal, QC, H3C 3J7, Canada

<sup>5</sup>Laboratoire International de recherche sur le Cerveau, la Musique et le Son (BRAMS), Montréal, QC H2V 2J2, Canada

**Plan détaillé de l'article :**

Introduction

Ataxies congénitales et réhabilitation

Danse et réhabilitation neurologique

Exemple d'un entraînement de danse dans les ataxies congénitales cérébelleuses

## **Résumé**

Les pathologies développementales du cervelet, en particulier les ataxies congénitales cérébelleuses, bien que rares, sont à l'origine de difficultés motrices et cognitives souvent sévères pour lesquelles il existe peu de méthodes de remédiation à l'heure actuelle. La danse est une activité artistique motivante et transgénérationnelle qui engage la synchronisation du corps entier avec la musique et/ou des partenaires. Dans ce chapitre, nous commencerons par exposer brièvement en introduction pourquoi la danse, de par ses caractéristiques, offre des perspectives particulièrement intéressantes sur le plan thérapeutique. Avant de discuter de l'utilisation de la danse dans la réhabilitation des pathologies neurologiques, nous aborderons le contexte particulier des ataxies congénitales cérébelleuses en rappelant le rôle du cervelet et les conséquences de son atteinte sur la qualité de vie et l'intégration sociale des patients et des familles. Nous ferons le point sur les possibilités actuelles de réhabilitation des enfants porteurs d'ataxie congénitale et nous mettrons en exergue l'absence de techniques de remédiation s'intéressant au rythme malgré les déficits rythmiques induits par l'atteinte cérébelleuse et le rôle important des capacités temporelles et sensori-motrices au cours du développement. Pour terminer, nous présenterons les résultats préliminaires d'une première étude menée dans notre laboratoire, en collaboration avec le Centre National de Référence Trouble du Cervelet du Centre Hospitalier Universitaire de Lille, ayant étudié les bénéfices sur les fonctions motrices et cognitives d'une intervention de deux mois fondée sur la danse et le rythme chez des enfants présentant une ataxie congénitale cérébelleuse.

## **INTRODUCTION**

La danse est une activité humaine très ancienne dont les premières traces, d'après les peintures rupestres remonteraient au paléolithique. Désignée comme le « premier né des arts »<sup>[83]</sup>, elle entretient un rapport privilégié avec l'espace et le temps. Naturellement couplée avec

la musique, elle lui est intimement liée. Nous nous mettons en mouvement au rythme de la musique même involontairement, sans prêter grande attention à elle, dévoilant ainsi notre sens du temps. La danse met en jeu notre capacité à coordonner nos mouvements avec des stimulations rythmiques externes, appelée « synchronisation sensori-motrice » (SSM) <sup>[80, 81]</sup> qui semble jouer un rôle important dans le développement de l'enfant <sup>[102, 110]</sup>. Sur le plan neurologique, la SSM recrute un réseau complexe incluant des structures corticales (régions motrices et sensori-motrices) et sous-corticales, en particulier les ganglions de la base et le cervelet, qui joue un rôle clé dans l'entraînement du mouvement au rythme de stimulations externes <sup>[11, 111]</sup>. Ce chapitre s'intéresse particulièrement au cervelet et au groupe de pathologies touchant le cervelet que sont les ataxies congénitales cérébelleuses.

La danse est une activité qui engage intensément la synchronisation du corps entier, ce qui lui confère un statut particulier parmi les arts. Au niveau cérébral, l'activation des régions sensori-motrices qu'elle suscite pourrait être à l'origine de la réponse esthétique à la danse, activité universellement appréciée <sup>[14]</sup>. La danse stimulant par définition la synchronisation de tout le corps, elle influence par là-même notre cerveau d'une manière tout à fait spécifique et bien différente de la musique <sup>[30, 31]</sup>. La SSM pourrait jouer un rôle déterminant dans le développement cognitif, notamment parce qu'elle requiert le couplage entre la perception et l'action <sup>[110]</sup>. Les recherches antérieures suggèrent qu'un entraînement impliquant la SSM comme dans la danse pourrait entraîner par transfert d'apprentissage l'amélioration des fonctions cognitives supérieures <sup>[27, 36, 52, 101, 102]</sup>. Dans les troubles du neuro-développement comme la dyslexie, les bénéfices d'un entraînement rythmique musical sur la cognition temporelle <sup>[74]</sup>, mais aussi sur d'autres fonctions comme la conscience phonologique et la lecture <sup>[26]</sup> ont été démontrés bien que la danse n'ait jamais été utilisée dans une perspective de remédiation de la dyslexie.

La synchronisation interpersonnelle est un autre élément crucial de l'entraînement par la danse car deux ou plusieurs personnes sont spatialement et temporellement synchronisées pendant de longues périodes. Or il a été montré que l'augmentation de la synchronie interpersonnelle pouvait promouvoir le comportement social <sup>[53]</sup> et augmenter la cohésion sociale et l'affiliation <sup>[40]</sup>. Ainsi, une étude a montré que l'empathie kinesthésique (mouvement spontané de synchronisation au mouvement d'autrui) de danseurs de Tango et de Capoeira était plus importante que celle de danseurs de Salsa ou de Break dance (ces deux derniers styles de danse engageant moins la synchronisation interpersonnelle que les deux premiers), et que cette mesure variait avec l'empathie émotionnelle et cognitive des danseurs <sup>[55]</sup>. En outre, la sensibilité au mouvement humain et la SSM font partie des éléments essentiels aux interactions sociales réussies au cours du développement <sup>[104]</sup>. En somme, la danse pourrait améliorer la qualité des interactions sociales en favorisant la synchronisation interpersonnelle et l'attention aux mouvements d'autrui <sup>[108]</sup>. Enfin, la danse constitue un moyen d'expression permettant de communiquer des idées et des émotions de façon tout à fait originale, via les gestes corporels <sup>[14]</sup>.

À travers sa dimension artistique et les compétences de coordination qu'elle sollicite, la danse apparaît finalement comme un support unique de développement de l'expérience motrice. Dans une perspective de réhabilitation, la danse présente l'intérêt d'être une activité à la fois collective, ludique, motivante et trans-générationnelle, indépendamment du milieu socio-culturel. Enfin l'aspect multimodal de la danse, alliant la vision, l'audition, le toucher et le mouvement, offre des perspectives très intéressantes sur le plan thérapeutique.

Dans ce chapitre, nous allons focaliser notre propos sur l'extraordinaire potentiel thérapeutique de la danse et du rythme dans la réhabilitation des enfants présentant une ataxie cérébelleuse congénitale.

## ATAXIES CONGÉNITALES ET RÉHABILITATION

Le « cervelet », littéralement « petit cerveau », bien qu'il représente seulement 10% du poids du cerveau, contient 80% des neurones du cerveau entier <sup>[2]</sup>. Sa structure anatomofonctionnelle se met en place essentiellement durant la période post-natale et le cervelet poursuit sa maturation tardivement jusqu'à l'âge adulte, ce qui renforce l'importance des stimulations de cette structure durant l'enfance et encourage la mise en place précoce de prises en charges adaptées lorsqu'il y a une atteinte cérébelleuse <sup>[100]</sup>. Le cervelet joue un rôle important dans le contrôle et l'apprentissage des mouvements ainsi que pour leur déroulement dans le temps. De plus, il est fortement connecté avec le reste du cerveau et, du fait de toutes ces connections, joue un rôle important dans la régulation d'autres fonctions cognitives. En effet, plusieurs études histologiques ont montré l'existence de connexions cérébelleuses avec le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex frontal médian, ainsi que les aires pariétales et temporales supérieures <sup>[67, 68, 79]</sup>. Dans les trente dernières années, de nombreuses études neuropsychologiques et d'IRM fonctionnelle ont mis en évidence l'implication du cervelet, non seulement dans les fonctions motrices, mais aussi dans les activités cognitives complexes ainsi que la régulation émotionnelle <sup>[87, 95]</sup> et le timing <sup>[42, 44, 45]</sup>. Le cervelet a notamment été décrit comme un co-processeur qui permet une réponse temporelle précise de séries d'inputs provenant du cortex sensoriel et moteur <sup>[17, 20]</sup>. Sur le plan neuropsychologique, le syndrome cérébelleux affectif et cognitif (Cerebellar Cognitive Affective Syndrome – CCAS), qui a été décrit à la fois dans les lésions acquises et les pathologies congénitales du cervelet <sup>[86, 88, 97]</sup> inclut des troubles exécutifs, du langage et visuo-spatiaux ainsi que des symptômes affectifs et émotionnels. Plus récemment, des troubles de la cognition sociale ont été décrits, venant compléter le tableau clinique du CCAS <sup>[39]</sup>. Enfin, au-delà du pur contrôle moteur, l'atteinte

cérébelleuse peut entraîner également des difficultés touchant les capacités temporelles et rythmiques, en particulier la perception des durées <sup>[21, 44, 45, 72]</sup>, mais aussi la SSM <sup>[76]</sup>. En particulier, des déficits de SSM en matière d'adaptation et d'anticipation ont été mis en évidence <sup>[89]</sup>.

L'ataxie cérébelleuse (ataxie : du grec, désordonné) désigne des troubles de l'équilibre et de la coordination provenant d'une atteinte du cervelet et des voies cérébelleuses. Les ataxies congénitales sont des maladies rares qui se caractérisent par la présence d'un syndrome cérébelleux précoce se manifestant dès la naissance ou dans les premiers mois de vie, d'abord par la présence d'une hypotonie et d'un retard psychomoteur, puis d'une ataxie cérébelleuse pouvant s'améliorer ou rester stable au cours du développement, sans régression <sup>[13]</sup>. Dans les ataxies congénitales, l'atteinte du cervelet est soit malformative, soit fonctionnelle, d'origine génétique ou d'étiologie inconnue. Parmi les ataxies congénitales, les plus connus sont le syndrome de Joubert et syndromes apparentés, la malformation de Dandy-Walker ainsi que les anomalies structurelles et volumétriques du cervelet (e. g. l'hypoplasie, la dysgénésie ou la dysplasie cérébelleuse). Dans ces pathologies cérébelleuses, l'atteinte touche prioritairement le vermis cérébelleux, de façon associée ou non à une atteinte des hémisphères. Des ataxies congénitales associées à une imagerie normale ont également été décrites <sup>[9]</sup>. On distingue l'ataxie statique lorsque la station debout est altérée, l'ataxie locomotrice en présence de trouble de la marche, et l'ataxie cinétique qui désigne une série de mouvements anormaux lors de l'exécution des mouvements volontaires : un manque de coordination et troubles du graphisme associés, une lenteur des mouvements, une dysmétrie (manque de précision pour atteindre une cible), des adiadococinésies (difficulté à exécuter des mouvements alternatifs, rapides, successifs et opposés), une dysarthrie ou des troubles de l'articulation, des troubles des praxies oro-bucco-faciales et des tremblements intentionnels. L'ataxie est souvent associée à des troubles de l'oculo-motricité et dans certains cas à une déficience intellectuelle de sévérité



variable et/ou à des troubles cognitifs et émotionnels pouvant toucher les fonctions exécutives et visuo-spatiales, le langage et la régulation de l'affect, comme cela été décrits dans le CCAS évoqué précédemment, ainsi que la cognition sociale. Chez l'enfant présentant une ataxie congénitale, ces difficultés cognitives se traduisent fréquemment par des difficultés d'apprentissage. Malgré la lenteur et les troubles du contrôle moteur associés, peu d'études se sont intéressées au timing et au rythme dans les ataxies congénitales. Un déficit de perception des durées a néanmoins été rapporté en présence d'anomalies congénitales du cervelet dans le contexte du spina-bifida <sup>[21]</sup> sans qu'un déficit de la SSM n'ait pu être démontré alors qu'un tel déficit a été mis en évidence en présence de lésions acquises du cervelet chez l'enfant (médulloblastomes) <sup>[76]</sup>.

L'ensemble de ces déficits impactent la qualité de vie des enfants et de leurs aidants, qui éprouvent un véritable « fardeau » parental face auquel ils développent des stratégies adaptatives <sup>[63]</sup>. Les enfants atteints d'ataxie cérébelleuse présentent en outre fréquemment des difficultés d'intégration scolaire et sociale. Ces difficultés peuvent les inscrire dans un cercle vicieux de mises en échecs, de perte de motivation et de perte d'estime de soi engendrant des difficultés psycho-affectives complexes. Leur parcours scolaire doit souvent être adapté, soit grâce à la mise en place d'accompagnement et d'aménagements scolaires, soit en passant par une orientation scolaire vers des structures spécialisées. Concernant les activités sportives, les enfants présentant une ataxie cérébelleuse sont souvent limités dans leurs performances par rapport à leurs pairs et, bien qu'ils soient le plus souvent en capacité de pratiquer une activité sportive, ils sont fréquemment amenés à vivre des expériences négatives dans les activités physiques, souffrant de difficultés d'intégration au groupe et parfois de stigmatisation du fait de leurs performances limitées. Par conséquent et compte tenu de leur fatigabilité et de leur programme souvent chargé de rééducation, de nombreux enfants n'ont pas de pratique sportive et conservent une image extrêmement négative de leurs compétences motrices. Cette mauvaise

image risque d'entraîner à son tour un sous-usage des capacités corporelles, qui, ajouté au manque d'exposition et d'entraînement, ne fait que renforcer les limitations des enfants porteurs d'ataxie congénitale.

L'évolution des ataxies congénitales est variable d'un enfant à l'autre. Les manifestations les plus gênantes au quotidien sont les troubles de l'équilibre à l'origine de difficultés de marche, les difficultés de coordination pouvant entraver les gestes et l'autonomie de l'enfant, et les difficultés d'apprentissage. De plus, les enfants souffrant d'ataxie congénitale, lorsqu'ils présentent des difficultés d'intégration sociale, font bien souvent face à une problématique d'isolement.

Il n'existe pas de traitement spécifique des ataxies congénitales et, à l'heure actuelle, la prise en charge repose essentiellement sur la remédiation des troubles moteurs et langagiers et sur l'accompagnement à l'intégration scolaire <sup>[13]</sup>. Notons que la remédiation des troubles cognitifs n'est pas encore très répandue dans les ataxies congénitales bien qu'elle puisse offrir des perspectives prometteuses <sup>[10]</sup>. Compte-tenu des particularités anatomo-fonctionnelles du cervelet, il se pourrait que les interventions visant le contrôle moteur cérébelleux soient efficaces, via un effet de transfert, pour l'amélioration d'autres manifestations cognitives ou émotionnelles du dysfonctionnement cérébelleux <sup>[87]</sup>. En pratique clinique, l'hypotonie et le retard des acquisitions peuvent être améliorés par des prises en charge rééducatives classiques comme la kinésithérapie, la psychomotricité, l'ergothérapie ainsi que l'orthophonie, qui aident l'enfant lorsqu'il présente des difficultés touchant la sphère orale ou des troubles du langage. La réhabilitation motrice des ataxies congénitales met en jeu l'utilisation d'instruments permettant l'amélioration de la fonction motrice, comme des orthèses ou encore des tables ou des chaises orthopédiques, mais aussi la création d'activités motrices stimulantes individualisées dans lesquelles sont travaillés les moyens de compensation des troubles cérébelleux. Par exemple, dans le contrôle de la vitesse, la lenteur des mouvements peut

compenser le déficit de coordination en réduisant les erreurs et en permettant la correction de l'exécution du mouvement lui-même. En revanche, la rapidité du mouvement peut permettre de compenser le tremblement <sup>[7]</sup>. Des travaux récents suggèrent également les effets bénéfiques sur les symptômes moteurs de la stimulation magnétique transcrânienne (TMS) testée auprès d'une population adulte présentant une atteinte cérébelleuse <sup>[105]</sup>.

Concernant les fonctions cognitives, deux études préliminaires décrivent des programmes de réhabilitation de la cognition visuelle <sup>[28, 92]</sup> destinés à des patients présentant une ataxie cérébelleuse. Ces programmes comportent l'utilisation d'exercices stimulant le contrôle du regard et favorisant la mise en place de stratégies d'exploration visuelle, d'attention visuelle, d'exercices de perception et de construction dans l'espace. Néanmoins, seule une étude rapporte des résultats quantitatifs pré- et post-entraînement permettant de mettre en évidence les effets bénéfiques d'un entraînement intensif de la cognition visuelle sur une période de temps courte (2 sessions par semaine de 45 minutes, pendant 15 semaines) chez une petite fille de 9 ans porteuse d'un syndrome de Joubert, par comparaison à une prise en charge classique réalisée sur le long terme <sup>[28]</sup>. A l'exception de cette étude de cas, il n'existe néanmoins à ce jour, à notre connaissance, pas de travaux expérimentaux ou d'essais cliniques s'intéressant à la remédiation cognitive des ataxies cérébelleuses. Ceci peut s'expliquer, au moins en partie, par la rareté de ces pathologies combinée à l'hétérogénéité phénotypique des ataxies cérébelleuses. En outre, la réhabilitation des fonctions exécutives via des techniques de métacognition semble prometteuse, bien que leur efficacité n'ait jamais été testée dans les ataxies cérébelleuses <sup>[10]</sup>.

Les études portant sur la réhabilitation chez l'enfant ataxique rapportent que les activités proposées aux enfants doivent être motivantes et ludiques et viser l'amélioration ou la mise en place de stratégies de compensation. Le constat qui est fait dans la littérature est celui de la nécessité de développer des outils spécifiques d'évaluation de la fonction cérébelleuse en

incluant les fonctions non motrices du cervelet et de prendre en compte les profils individuels des patients. En particulier, les déficits temporels et sensori-moteurs des enfants cérébelleux sont encore très mal connus et il n'existe pas de réhabilitation permettant de compenser spécifiquement ces difficultés, alors même qu'on sait aujourd'hui que ces mécanismes temporels sont particulièrement importants dans le développement de l'enfant. En outre, le fait que le trouble cérébelleux touche de multiples fonctions motrices et cognitives oriente vers un programme d'entraînement engageant différents domaines, et incluant le fonctionnement social [10].

## **DANSE ET RÉHABILITATION NEUROLOGIQUE**

La danse est une activité multisensorielle et multimodale, qui est source à la fois de stimulations physiques et musicales, toutes deux étant connues pour favoriser la plasticité neuronale. De plus, la danse est une forme élaborée de synchronisation sensorimotrice, combinant des mécanismes fondamentaux tels que ceux sous-jacent à la SSM à l'engagement du corps entier [38, 50, 57, 106]. En ce sens, la danse est un candidat de choix pour entraîner les mécanismes sensorimoteurs et le rythme dans un contexte de réhabilitation [22].

De manière générale, il est connu que l'entraînement induit de la plasticité cérébrale. Chez les danseurs professionnels, l'apprentissage long et assidu depuis le plus jeune âge entraîne une coordination très précise entre des gestes fins et des informations sensorielles (auditives, tactiles et visuelles) [49]. Cette capacité de SSM, raffinée grâce à un entraînement approfondi chez les danseurs experts, est sous-tendue par les changements dans l'organisation cérébrale liés à la pratique et résultant de la plasticité [98]. La plasticité est d'ailleurs plus importante dans l'enfance qu'à l'âge adulte [29]. Celle-ci fait référence aux transformations

structurelles et fonctionnelles du cerveau liées à l'expérience. Des modifications structurelles et/ou fonctionnelles ont été observées chez des danseurs experts <sup>[51]</sup>. Ces changements s'accompagnent de meilleures fonctions sensorimotrices <sup>[8, 48, 51]</sup>, proprioceptives et de représentation du corps <sup>[49]</sup>, ce qui confirme le lien étroit entre le réseau cérébral de la danse et les fonctions sensorimotrices et proprioceptives. Chez des musiciens experts, de telles modifications ont été observées au niveau du cervelet <sup>[5, 85]</sup>, suggérant l'impact de l'entraînement rythmique et synchronisé précoce sur le développement du cervelet et les capacités sensori-motrices qui lui sont liées <sup>[5]</sup>. Enfin, de plus en plus d'arguments suggèrent que le mouvement peut façonner la perception auditive <sup>[25]</sup> et la représentation neurale du rythme <sup>[15]</sup>, renforçant l'hypothèse selon laquelle la danse constitue une activité idéale de stimulation des mécanismes sensori-moteurs chez l'enfant via un remodelage des circuits neuronaux de la cognition temporelle.

La danse engage un large réseau cérébral incluant les structures sous-corticales que sont le cervelet et les ganglions de la base (e.g., le putamen) et les aires corticales motrices incluant l'aire motrice supplémentaire et le cortex moteur, en plus de celles sous-tendant l'observation de l'action, en particulier le cortex prémoteur et le cortex pariétal <sup>[4, 11, 16, 31, 51]</sup>. En ce qui concerne le cervelet, le vermis cérébelleux antérieur et les lobules cérébelleux V et VI joueraient un rôle important dans la coordination du mouvement avec un rythme externe pendant une activité de danse <sup>[11]</sup>. D'un point de vue neurologique, la danse implique donc les régions cérébrales sous-tendant la cognition temporelle et la SSM, en particulier le cervelet <sup>[73]</sup> et les ganglions de la base <sup>[11, 60]</sup>. En effet, il existe des preuves en neuroimagerie (par exemple avec la TEP) d'une plus grande activité cérébelleuse lorsque les mouvements de danse (tango) sont synchronisés avec un rythme musical par rapport à des mouvements réalisés sur un rythme libre et l'activation du putamen dépend de la régularité du rythme auquel les mouvements de danse sont synchronisés <sup>[11]</sup>. Outre l'activation du cervelet et des ganglions de la base,

l'entraînement à la danse est susceptible d'accroître la connectivité fonctionnelle et structurelle dans le cerveau, en particulier entre les zones engagées par la SSM <sup>[11]</sup>, un effet qui varie en fonction des années de pratique <sup>[60]</sup>. C'est probablement la raison pour laquelle l'entraînement de danse influence la cognition temporelle <sup>[59, 64, 70, 90, 103]</sup>. Par exemple, une étude a montré que des danseurs de rue étaient moins variables dans la synchronisation de genuflexions au rythme d'un métronome que des participants contrôles appariés non danseurs <sup>[70]</sup>. De plus, les bénéfices de la danse sur la cognition temporelle pourraient s'étendre également à la perception. Par exemple, lorsqu'on compare les réponses comportementales ainsi que les réponses pré-attentives électrophysiologiques (EEG) à des changements auditifs rapides, les danseurs ont un avantage par rapport aux non danseurs, suggérant que le traitement auditif des danseurs est facilité par des mécanismes de timing prédictif plus efficaces que chez les non danseurs <sup>[77]</sup>. Étant donné le pouvoir de la danse pour recruter et façonner les réseaux sensorimoteurs du cerveau, l'entraînement à la danse pourrait donc constituer une stratégie de remédiation des déficits de timing et de prédiction temporelle.

Les bénéfices de la danse sur la neuroplasticité sont-ils applicables à des pathologies neurologiques ? Dans une récente revue de littérature, Bruyneel (2019) souligne que le domaine des interventions par la danse dans les maladies chroniques est en pleine expansion, ce type d'intervention présentant peu de limites pour les patients déficitaires sur le plan fonctionnel. Cependant, il existe encore peu d'essais cliniques randomisés. En effet, sur cinquante et une études retenues dans une revue systématique, environ la moitié seulement consistaient en des essais cliniques randomisés <sup>[12]</sup>. Parmi les pathologies ciblées par la réhabilitation par la danse, la plupart sont des pathologies neurologiques. En effet, la danse a déjà démontré son efficacité dans la prise en charge neurologique, notamment des troubles moteurs, de patients adultes souffrant de diverses maladies neurologiques dont l'accident vasculaire cérébral <sup>[75, 109]</sup>, le traumatisme crânien <sup>[56]</sup>, les paralysies cérébrales <sup>[99]</sup> ou certaines maladies neurodégénératives

[1]. Elle a été utilisée dans la réhabilitation motrice, comportementale et cognitive de pathologies dans lesquelles la SSM est affectée, en particulier la maladie de Parkinson [6, 19, 23, 33, 34, 35, 37, 58, 66, 82, 91] mais aussi, chez l'enfant avec TDAH qui a fait l'objet d'une étude de cas pilote [32]. En neuropédiatrie, on note également quatre études pilotes suggérant des effets bénéfiques de la danse sur les capacités motrices d'enfants souffrant de paralysie cérébrale [61, 62, 71, 96]. Plus généralement, la danse a des effets positifs sur des fonctions cognitives, motrices et émotionnelles [8] souvent affectées dans les pathologies développementales, dont l'équilibre et l'intégration proprioceptive [41, 49], la flexibilité mentale [19], les habiletés mathématiques et de rotation mentale [46] et la pensée créative [69]. Enfin, elle peut agir positivement sur les troubles psychoaffectifs comme la dépression ou l'anxiété [47] tout en augmentant la socialisation [78, 99] et l'expressivité [54]. Une récente étude de cas en EEG (mesures répétées) rapporte des modifications du mode par défaut pendant la phase de réhabilitation par la danse chez un patient ayant subi un traumatisme crânien sévère suite à un accident de voiture [56]. Ces modifications neuronales induites par la danse étaient positivement corrélées avec des améliorations fonctionnelles mesurées quantitativement à l'aide de la MIF (Mesure de l'Indépendance Fonctionnelle), suggérant qu'une intervention de danse peut affecter positivement la plasticité cérébrale suite à un traumatisme crânien. Cependant, très peu d'études se sont intéressées aux effets de la danse dans les pathologies du cervelet. Seulement deux études réalisées chez l'adulte se sont intéressées aux effets de la danse sur les troubles ataxiques, dont une réalisée chez un patient présentant une atrophie du cervelet [93], et l'autre auprès d'une population de dix patientes présentant des troubles ataxiques cérébelleux dans le cadre d'une sclérose en plaques [84]. Ces deux études rapportent une amélioration de l'équilibre, de la marche et de la mobilité après un entraînement de danse allant de 24 à 32 séances étalées sur 8 à 16 semaines. Cependant, aucune étude n'a été réalisée chez l'enfant et l'effet de la danse sur la

synchronisation sensori-motrice, la cognition et les interactions sociales n'a pas été étudié dans les ataxies congénitales.

## **EXEMPLE DE MISE EN PLACE D'UN ENTRAÎNEMENT DE DANSE DANS LES ATAXIES CONGÉNITALES CÉRÉBELLEUSES**

Nous allons à présent exposer brièvement les résultats préliminaires d'une étude destinée à tester les bénéfices thérapeutiques d'une intervention de danse sur les aptitudes motrices et cognitives réalisée chez sept enfants présentant une ataxie cérébelleuse congénitale. Dans cette étude, l'effet de la danse a été examiné en considérant les capacités de synchronisation sensori-motrice (tâche de tapping synchronisé, issue de la batterie BAASTA<sup>[18]</sup>) ainsi que diverses tâches motrices (tâches d'équilibre et de dextérité manuelle) et cognitives (tâches exécutives, notamment de flexibilité mentale). La tâche de tapping synchronisé (à un métronome et à de la musique) ainsi que les tâches motrices et cognitives étaient réalisées avant, après et à distance de deux mois (follow-up) d'un entraînement de danse adapté aux enfants présentant une ataxie congénitale. La cognition sociale des enfants dans leur vie quotidienne a été également examinée à l'aide d'un questionnaire rempli par les parents (Barbeau et Dellacherie, en préparation).

L'entraînement de danse a été délivré par une danseuse professionnelle ayant une grande expérience pédagogique avec les enfants. Son approche pédagogique générale était ludique et alliait l'écoute des sensations corporelles à la mise en œuvre de l'expression artistique. Son positionnement vis-à-vis des enfants se situait à la frontière entre le soin et l'apprentissage si bien que les enfants n'ont jamais considéré qu'ils étaient inclus dans un protocole de soin. Ce sentiment était probablement renforcé par le fait que l'entraînement s'est déroulé dans une salle



de danse confortable, se situant en dehors de l'hôpital. De plus, tenant compte des recommandations faites pour réaliser ce type d'interventions auprès d'enfants <sup>[26]</sup>, le contenu des sessions était varié afin de maintenir la motivation des enfants pendant la totalité du programme. Durant ces séances, des exercices divers ont été proposés aux enfants, chaque exercice durant environ sept minutes. Les mêmes musiques ont été reprises à chaque début de séance afin de favoriser la mémorisation des enfants, de leur donner des points de repère, et in fine de les rendre plus autonomes au fur et à mesure des séances. La structure de l'entraînement a été calibrée suite à la première séance durant laquelle les symptômes du syndrome cérébelleux ont pu être observés dans le contexte de la pratique de la danse. Nous avons alors retrouvé : hypotonie, déficit d'équilibre, manque d'harmonie dans les gestes, déficit de coordination (entre le regard et le mouvement, entre le bas et le haut du corps, entre le centre du corps et la périphérie), difficultés à réaliser des mouvements dans la lenteur ou de manière continue, défaut d'orientation spatiale et déficit rythmique (difficultés à trouver et maintenir une pulsation ou une régularité). Au-delà du syndrome cérébelleux, il est intéressant de noter que des difficultés plus spécifiques à l'activité artistique ont été également observées pour tous les enfants, notamment une inhibition à initier un geste artistique ainsi qu'un manque d'imagination se manifestant par la pauvreté des outils pour explorer les mouvements et en créer de nouveaux. Ces difficultés apparaissaient clairement plus prononcées que celles qu'on trouve habituellement chez des enfants du même âge au développement typique débutant en danse. Suite à la première séance et devant les troubles des patients cérébelleux, il a été décidé de renforcer les activités permettant d'améliorer la coordination motrice et trois objectifs principaux ont été dégagés : 1) développer la conscience du mouvement et l'aisance corporelle 2) développer les aptitudes rythmiques des enfants 3) favoriser la créativité et les interactions entre les enfants.

L'entraînement s'est déroulé sur 14 séances d'1h30 réparties de façon bihebdomadaire auxquelles ont été ajoutées deux séances, l'une, de prise de contact, qui a eu lieu au tout début de l'entraînement et l'autre, à la toute fin de l'entraînement, consistant en une représentation faite devant les parents. La première séance de prise de contact était destinée à créer une cohésion de groupe et à motiver les enfants à s'engager pleinement dans l'activité de danse. Cette séance préliminaire a été consacrée aux présentations mais aussi à des exercices de relaxation, de synchronisation et d'improvisation, intercalés entre des moments de jeux connus des enfants (e. g. un, deux, trois, soleil).

La structuration de l'entraînement à proprement parler est résumée dans la Figure 1 [Fig. 1]. Chaque séance était structurée de manière identique en cinq phases successives (accueil, échauffement, puis rythmes et déplacements, puis exploration thématique, avant de terminer par une phase d'improvisation et de composition). L'exploration thématique était consacrée à l'approfondissement de notions travaillées spécifiquement durant la séance pendant un temps dédié, avant d'être mises en application lors de la phase d'improvisation et de composition. Pour l'augmentation de la conscience corporelle et une meilleure maîtrise du mouvement, des exercices ont été répétés au fur et à mesure des séances pendant l'échauffement pour permettre le travail progressif de la conscience corporelle à travers la variation des tonicités, le travail postural et le renforcement de l'ancrage, les repères dans l'espace et la mobilité des différentes parties du corps. Les principes d'analyse du mouvement de Rudolf Laban<sup>[107]</sup> (cinétopographie et choréologie) ont été appliqués. Sur le plan rythmique, l'entraînement combinait graduellement des mouvements du corps entier synchronisés avec la musique (avec ou sans pulsation musicale), ainsi que des mouvements et des danses avec un ou plusieurs partenaires. Pour cela, le programme incluait des exercices et jeux rythmiques inspirés de la pratique Dalcroze<sup>[3]</sup> avec l'utilisation d'un tambourin ainsi que la mise en œuvre de rythmes du corps tels que développées par F. Dupuy<sup>[24]</sup>. L'entraînement mettait également en jeu l'apprentissage

séquentiel de mouvements coordonnés ainsi que l'expressivité et la créativité à travers l'improvisation et l'utilisation d'objets (balles, tapis, tissus).

Les résultats préliminaires de cette étude montrent une augmentation de la régularité de la synchronisation sensori-motrice et une amélioration de l'équilibre à la suite de l'intervention par la danse. De plus, comme nous nous y attendions, une amélioration de la flexibilité mentale a été mise en évidence, ainsi qu'une amélioration de la cognition sociale chez les patients, suggérant des effets de transfert d'apprentissage des capacités sensori-motrices vers les compétences cognitives et les interactions sociales. La figure 2 [Fig. 2] résume les résultats obtenus avant et après l'entraînement de danse chez les sept patients cérébelleux, chaque forme géométrique désignant un patient. Les effets bénéfiques de la danse ont été observés individuellement chez presque tous les patients et ont été généralement maintenus deux mois après l'intervention. Qualitativement, le retour des familles a également été positif pour tous les patients, avec des bénéfices observés à la maison comme à l'école pour chacun des sept enfants ayant participé à l'étude. Les parents ont, en particulier, tous rapporté une amélioration notable de la confiance en soi au quotidien. Enfin, des progrès ont pu être observés au fur et à mesure de l'entraînement de danse sur le plan de l'expression artistique et de la créativité des enfants.

## CONCLUSION

Face au manque d'options thérapeutiques pour les enfants présentant une ataxie congénitale, la réhabilitation par la danse et par le rythme semble prometteuse. Les résultats préliminaires obtenus chez sept patients suggèrent que la danse peut améliorer les capacités de SSM, l'équilibre, ainsi que les fonctions cognitives (flexibilité mentale) et les habiletés sociales.

Les bénéfices obtenus au niveau des fonctions motrices et cognitives pourraient provenir d'effets de transfert des aptitudes sensori-motrices vers ces fonctions. L'amélioration des habiletés sociales est probablement due au fait que la synchronisation interpersonnelle est sollicitée et entraînée pendant l'activité de danse. En somme, le réseau sous-tendant la SSM (comprenant le cervelet, les ganglions de la base et le cortex moteur) semble avoir été stimulé par la danse. A ce jour, nous ne pouvons pas décrire les mécanismes sous-jacents aux effets positifs de la danse. Des études complémentaires sont nécessaires afin de clarifier si l'amélioration observée chez les patients est due à une augmentation de l'efficacité de la fonction cérébelleuse ou au recrutement d'un réseau incluant d'autres aires cérébrales pour compenser le déficit cérébelleux. En outre, la réussite de la réalisation du programme de danse souligne l'intérêt pour les enfants présentant une ataxie congénitale de bénéficier d'un programme de danse calibré pour répondre aux difficultés propres au syndrome cérébelleux. Un intérêt majeur a été observé dans le fait pour tous ces enfants de partager des difficultés similaires et que des séances collectives leur soient dédiées sans stigmatisation, permettant de limiter le sentiment d'isolement pour l'enfant mais aussi pour les parents. La dimension artistique du projet semble avoir permis aux enfants de surmonter certaines inhibitions et de mettre du sens dans le travail du mouvement.

### ***Remerciements***

Cette recherche a été conduite au Centre National de référence « Maladies rares » Trouble du Cervelet (Service de Neuropédiatrie, CHU de Lille). Elle a été réalisée grâce au soutien de la Fondation Maladies Rares à Delphine Dellacherie. Nous remercions Marie-Pierre Lemaître, Camille Fallot et Yohan Bourez pour leur participation aux différentes étapes de l'étude ainsi que Véronique Brunel, professeure de danse et danseuse qui est intervenue lors de

la phase d'entraînement. Nous remercions tous les enfants qui ont participé à l'étude ainsi que leurs parents.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abreu M, Hartley G. The effects of Salsa dance on balance, gait, and fall risk in a sedentary patient with Alzheimer's dementia, multiple comorbidities, and recurrent falls, *Journal of Geriatric Physical Therapy* 2013;36(2):100-8.
2. Azevedo FAC, Carvalho LRB, Grinberg LT, Farfel JM, Ferretti REL, Leite REP, et al. Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain, *J Comp Neurol* 2009;513(5):532-41.
3. Bachman M. *La rythmique Jacques Dalcroze: une éducation par la musique et pour la musique.* Boudry. La Baconnière, France; 1984.
4. Bachrach A, Jola C, Pallier C. Neuronal bases of structural coherence in contemporary dance observation, *NeuroImage* 2016;124:464-72.
5. Baer LH, Park MTM, Bailey JA, Chakravarty MM, Li KZH, Penhune VB. Regional cerebellar volumes are related to early musical training and finger tapping performance; *NeuroImage* 2015;109:130-9.
6. Batson G, Migliarese SJ, Soriano C, H. Burdette J, Laurienti PJ. Effects of Improvisational Dance on Balance in Parkinson's Disease: A Two-Phase fMRI Case Study, *Physical & Occupational Therapy In Geriatrics* 2014;32(3):188-97.
7. Battini R, Bieber E, Casarano M, Cioni G. Ataxic disorder in childhood: an approach providing assistance and motor rehabilitation. In: *Paediatric Neurological Disorders with cerebellar involvement, Diagnosis and management.* Stefano D'arrigo, Daria Riva, Enza Maria Valente. Mariani Foundation *Paediatric Neurology*; 2014;27: 201-12.
8. Bläsing B, Calvo-Merino B, Cross ES, Jola C, Honisch J, Stevens CJ. Neurocognitive control in dance perception and performance, *Acta Psychologica* 2012;139(2):300-8.

9. Boltshauser E, Poretti A. Cerebellum - small brain but large confusion: reappraisal 10 years later. In: Paediatric Neurological Disorders With Cerebellar Involvement - Diagnosis and Management. . Stefano D'arrigo, Daria Riva, Enza Maria Valente. Mariani Foundation Paediatric Neurology; 2014;27: 3-8.
10. Brenna V. Patients with cerebellar pathology : Rehabilitation of cognitive functions. In: Paediatric Neurological Disorders With Cerebellar Involvement - Diagnosis and Management. . Stefano D'arrigo, Daria Riva, Enza Maria Valente. Mariani Foundation Paediatric Neurology; 2014;27: 221-34
11. Brown S, Martinez MJ, Parsons LM. The neural basis of human dance, Cereb Cortex 2006;16(8):1157-67.
12. Bruyneel A-V. Effects of dance activities on patients with chronic pathologies: scoping review, Heliyon. 2019;5(7):e02104.
13. Burglen L. Ataxies cérébelleuses congénitales, Revue Neurologique 2014;170:A242.
14. Calvo-Merino B, Jola C, Glaser DE, Haggard P. Towards a sensorimotor aesthetics of performing art, Consciousness and Cognition 2008;17(3):911-22.
15. Chemin B, Mouraux A, Nozaradan S. Body movement selectively shapes the neural representation of musical rhythms, Psychological Science 2014;25(12):2147-59.
16. Cross ES, Hamilton AF de C, Grafton ST. Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers, Neuroimage 2006;31(3):1257-67.
17. D'Angelo E, Casali S. Seeking a unified framework for cerebellar function and dysfunction: from circuit operations to cognition, Front Neural Circuits [Internet] 2013;6. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fncir.2012.00116/abstract>
18. Dalla Bella S, Farrugia N, Benoit C-E, Bégel V, Verga L, Harding E, et al. BAASTA: Battery for the assessment of auditory sensorimotor and timing abilities, Behav Res juin 2017;49(3):1128-45.
19. De Natale ER, Paulus KS, Aiello E, Sanna B, Manca A, Sotgiu G, et al. Dance therapy improves motor and cognitive functions in patients with Parkinson's disease, NRE 2017;40(1):141-4.
20. De Zeeuw CI, Hoebeek FE, Bosman LWJ, Schonewille M, Witter L, Koekkoek SK. Spatiotemporal firing patterns in the cerebellum, Nat Rev Neurosci 2011;12(6):327-44.
21. Dennis M, Edelstein K, Hetherington R, Copeland K, Frederick J, Blaser SE, et al. Neurobiology of perceptual and motor timing in children with spina bifida in relation to cerebellar volume, Brain 2004;127(Pt 6):1292-301.

22. Dhimi P, Moreno S, DeSouza JFX. New framework for rehabilitation - fusion of cognitive and physical rehabilitation: the hope for dancing, *Frontiers in Psychology* [Internet] 2015;5. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.01478/abstract>
23. Duncan RP, Earhart GM. Randomized Controlled Trial of Community-Based Dancing to Modify Disease Progression in Parkinson Disease, *Neurorehabil Neural Repair* 2012;26(2):132-43.
24. Dupuy D, Dupuy F. Une danse à l'oeuvre. Centre National de la Danse. La Roche sur Yon, France; 2002.
25. Falk S, Dalla Bella S. It is better *when* expected: aligning speech and motor rhythms enhances verbal processing, *Language, Cognition and Neuroscience* 2016;1-10.
26. Flaunacco E, Lopez L, Terribili C, Montico M, Zoia S, Schön D. Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: a randomized control trial. Amitay S, éditeur, *Plos One* 2015;10(9):e0138715.
27. Fujii S, Wan CY. The Role of Rhythm in Speech and Language Rehabilitation: The SEP Hypothesis, *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet] 2014;8. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2014.00777/abstract>
28. Gagliardi C, Brenna V, Romaniello R, Arrigoni F, Tavano A, Romani M, et al. Cognitive rehabilitation in a child with Joubert Syndrome: Developmental trends and adaptive changes in a single case report. *Research in Developmental Disabilities*. déc 2015;47:375-84.
29. Gaser C, Schlaug G. Brain Structures Differ between Musicians and Non-Musicians. *J Neurosci*, 2003;23(27):9240-5.
30. Giacosa C, Karpati FJ, Foster NEV, Hyde KL, Penhune VB. The descending motor tracts are different in dancers and musicians, *Brain Struct Funct* 2019;224(9):3229-46.
31. Giacosa C, Karpati FJ, Foster NEV, Penhune VB, Hyde KL. Dance and music training have different effects on white matter diffusivity in sensorimotor pathways, *NeuroImage* 2016;135:273-86.
32. Grönlund E, Renck B, Weibull J. Dance/Movement therapy as an alternative treatment for young boys diagnosed as ADHD: a pilot study, *Am J Dance Ther* 2005;27(2):63-85.
33. Hackney ME, Earhart GM. Effects of dance on gait and balance in Parkinson's disease: a comparison of partnered and nonpartnered dance movement, *Neurorehabil Neural Repair* 2010;24(4):384-92.
34. Hackney ME, Kantorovich S, Levin R, Earhart GM. Effects of tango on functional mobility in Parkinson's disease: a preliminary study, *Journal of Neurologic Physical Therapy* 2007;31(4):173-9.

35. Hackney M, Earhart G. Effects of dance on movement control in Parkinson's disease: A comparison of Argentine tango and American ballroom, *J Rehabil Med* 2009;41(6):475-81.
36. Hardy MW, LaGasse AB. Rhythm, movement, and autism: using rhythmic rehabilitation research as a model for autism, *Frontiers in Integrative Neuroscience* [Internet] 2013;7. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnint.2013.00019/abstract>
37. Hashimoto H, Takabatake S, Miyaguchi H, Nakanishi H, Naitou Y. Effects of dance on motor functions, cognitive functions, and mental symptoms of Parkinson's disease: A quasi-randomized pilot trial, *Complementary Therapies in Medicine* 2015;23(2):210-9.
38. Himberg T, Laroche J, Bigé R, Buchkowski M, Bachrach A. Coordinated interpersonal behaviour in collective dance improvisation: the aesthetics of kinaesthetic togetherness, *Behavioral Sciences* 2018;8(2):23.
39. Hoche F, Guell X, Sherman JC, Vangel MG, Schmähmann JD. Cerebellar contribution to social cognition, *Cerebellum* 2016;15(6):732-43.
40. Hove MJ, Risen JL. It's all in the timing: interpersonal synchrony increases affiliation, *Social Cognition* 2009;27(6):949-61.
41. Hutt K, Redding E. The effect of an eyes-closed dance-specific training program on dynamic balance in elite pre-professional ballet dancers: A randomized controlled pilot study, *Journal of Dance Medicine & Science* 2014;18(1):3-11.
42. Ivry R. The neural representation of time, *Current Opinion in Neurobiology* 2004;14(2):225-32.
43. Ivry R. Cerebellar timing systems, *Int Rev Neurobiol* 1997;41:555-73.
44. Ivry RB, Keele SW. Timing Functions of The Cerebellum, *Journal of Cognitive Neuroscience* 1989;1(2):136-52.
45. Ivry RB, Spencer RM, Zelaznik HN, Diedrichsen J. The cerebellum and event timing, *Ann N Y Acad Sci* 2002;978:302-17.
46. Jansen P, Kellner J, Rieder C. The improvement of mental rotation performance in second graders after creative dance training, *Creative Education* 2013;04(06):418-22.
47. Jeong Y-J, Hong S-C, Lee MS, Park M-C, Kim Y-K, Suh C-M. Dance movement therapy improves emotional responses and modulates neurohormones in adolescents with mild depression, *International Journal of Neuroscience* 2005;115(12):1711-20.



48. Jin X, Wang B, Lv Y, Lu Y, Chen J, Zhou C. Does dance training influence beat sensorimotor synchronization? Differences in finger-tapping sensorimotor synchronization between competitive ballroom dancers and nondancers, *Exp Brain Res* 2019;237(3):743-53.
49. Jola C, Davis A, Haggard P. Proprioceptive integration and body representation: insights into dancers' expertise, *Experimental Brain Research* 2011;213(2-3):257-65.
50. Joufflineau C, Vincent C, Bachrach A. Synchronization, Attention and Transformation: Multidimensional exploration of the aesthetic experience of contemporary dance spectators, *Behavioral Sciences* 2018;8(2):24.
51. Karpati FJ, Giacosa C, Foster NEV, Penhune VB, Hyde KL. Dance and music share gray matter structural correlates, *Brain Research* 2017;1657:62-73.
52. Khalil AK, Minces V, McLoughlin G, Chiba A. Group rhythmic synchrony and attention in children, *Frontiers in Psychology* [Internet] 2013;4. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2013.00564/abstract>
53. Kirschner S, Tomasello M. Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children, *Journal of Experimental Child Psychology*, 2009;102(3):299-314.
54. Koch SC. Rhythm is it: effects of dynamic body feedback on affect and attitudes, *Frontiers in Psychology* [Internet] 2014 ;5. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.00537/abstract>
55. Koehne S, Schmidt MJ, Dziobek I. The role of interpersonal movement synchronisation in empathic functions: Insights from Tango Argentino and Capoeira: Movement synchronization and empathy, *Int J Psychol* 2016;51(4):318-22.
56. Kullberg-Turtiainen M, Vuorela K, Huttula L, Turtiainen P, Koskinen S. Individualized goal directed dance rehabilitation in chronic state of severe traumatic brain injury: A case study, *Heliyon* 2019;5(2):e01184.
57. Laland K, Wilkins C, Clayton N. The evolution of dance. *Current Biology*. janv 2016;26(1):R5-9.
58. Lee H-J, Kim S-Y, Chae Y, Kim M-Y, Yin C, Jung W-S, et al. Turo (Qi Dance) program for parkinson's disease patients: randomized, assessor Blind, waiting-list control, partial crossover study, *Explore* 2018;14(3):216-23.
59. Lee KM, Barrett KC, Kim Y, Lim Y, Lee K. Dance and music in "Gangnam style": how dance observation affects meter Perception. Proulx MJ, éditeur, *Plos One* 2015;10(8):e0134725.

60. Li G, He H, Huang M, Zhang X, Lu J, Lai Y, et al. Identifying enhanced cortico-basal ganglia loops associated with prolonged dance training, *Sci Rep* 2015;5(1):10271.
61. López-Ortiz C, Egan T, Gaebler-Spira DJ. Pilot study of a targeted dance class for physical rehabilitation in children with cerebral palsy, *SAGE Open Medicine* 2016;4:205031211667092.
62. López-Ortiz C, Gladden K, Deon L, Schmidt J, Girolami G, Gaebler-Spira D. Dance program for physical rehabilitation and participation in children with cerebral palsy, *Arts & Health* 2012;4(1):39-54.
63. Luescher JL, Dede DE, Gitten JC, Fennell E, Maria BL. Parental Burden, Coping, and Family Functioning in primary caregivers of children with Joubert syndrome, *J Child Neurol.* 1999;14(10):642-8.
64. Magnani B, Oliveri M, Frassinetti F. Exploring the reciprocal modulation of time and space in dancers and non-dancers, *Experimental Brain Research* 2014;232(10):3191-9.
65. Manly T, Robertson I, Anderson V, Mimmo-Smith I. Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant - TEA-Ch. Editions du Centre de Psychologie Appliquée. Paris; 2004.
66. McKee KE, Hackney ME. The effects of adapted tango on spatial cognition and disease severity in Parkinson's disease, *Journal of Motor Behavior* 2013;45(6):519-29.
67. Middleton F. The cerebellum: an overview, *Trends in Neurosciences* 1998;21(9):367-9.
68. Middleton FA, Strick PL. Cerebellar projections to the prefrontal cortex of the primate, *J Neurosci.* 2001;21(2):700-12.
69. Minton S. Assessment of high school students' creative thinking skills: A comparison of dance and nondance classes, *research in dance education* 2003;4(1):31-49.
70. Miura A, Kudo K, Nakazawa K. Action-perception coordination dynamics of whole-body rhythmic movement in stance: A comparison study of street dancers and non-dancers, *Neuroscience Letters* 2013;544:157-62.
71. Morán Pascual P, Mortes Roselló E, Domingo Jacinto A, Belda Lois JM, Bermejo I, Medina E, et al. On the use of dance as a rehabilitation approach for children with cerebral palsy: A single case study, *Stud Health Technol Inform* 2015;217:923-8.
72. Mostofsky SH, Kunze JC, Cutting LE, Lederman HM, Denckla MB. Judgment of duration in individuals with ataxia-telangiectasia, *Dev Neuropsychol* 2000;17(1):63-74.

73. Nigmatullina Y, Hellyer PJ, Nachev P, Sharp DJ, Seemungal BM. The neuroanatomical correlates of training-related perceptuo-reflex uncoupling in dancers, *Cerebral Cortex* 2015;25(2):554-62.
74. Overy K. Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention, *Ann N Y Acad Sci.* 2003;999:497-505.
75. Patterson KK, Wong JS, Nguyen T-U, Brooks D. A dance program to improve gait and balance in individuals with chronic stroke: a feasibility study, *Topics in Stroke Rehabilitation* 2018;1-7.
76. Provasi J, Doyère V, Zélanti PS, Kieffer V, Perdry H, El Massioui N, et al. Disrupted sensorimotor synchronization, but intact rhythm discrimination, in children treated for a cerebellar medulloblastoma, *Research in Developmental Disabilities* 2014;35(9):2053-68.
77. Poikonen H, Toiviainen P, Tervaniemi M. Early auditory processing in musicians and dancers during a contemporary dance piece, *Sci Rep* 2016;6(1):33056.
78. Quiroga Murcia C, Kreutz G, Clift S, Bongard S. Shall we dance? An exploration of the perceived benefits of dancing on well-being, *Arts & Health* 2010;2(2):149-63.
79. Ramnani N. The primate cortico-cerebellar system: anatomy and function, *Nat Rev Neurosci* 2006;7(7):511-22.
80. Repp BH. Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature, *Psychonomic Bulletin & Review* 2005;12(6):969-92.
81. Repp BH, Su Y-H. Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012), *Psychonomic Bulletin & Review* 2013;20(3):403-52.
82. Rios Romenets S, Anang J, Fereshtehnejad S-M, Pelletier A, Postuma R. Tango for treatment of motor and non-motor manifestations in Parkinson's disease: A randomized control study, *Complementary Therapies in Medicine* 2015;23(2):175-84.
83. Sachs C. *World History of the Dance*. New York: Norton; 1937.
84. Scheidler AM, Kinnett-Hopkins D, Learmonth YC, Motl R, López-Ortiz C. Targeted ballet program mitigates ataxia and improves balance in females with mild-to-moderate multiple sclerosis, *Plos one* 2018;13(10):e0205382.
85. Schlaug G. The brain of musicians: A model for functional and structural adaptation, *Annals of the New York Academy of Sciences* 2001;930(1):281-99.
86. Schmahmann JD, Sherman JC. The cerebellar cognitive affective syndrome, *Brain* 1998;121 (Pt 4):561-79.

87. Schmahmann JD. The role of the cerebellum in cognition and emotion: Personal reflections since 1982 on the dysmetria of thought hypothesis, and its historical evolution from theory to therapy, *Neuropsychol Rev* 2010;20(3):236-60.
88. Schmahmann JD, Guell X, Stoodley CJ, Halko MA. The Theory and Neuroscience of Cerebellar Cognition, *Annu Rev Neurosci* 2019;42(1):337-64.
89. Schwartze M, Keller PE, Kotz SA. Spontaneous, synchronized, and corrective timing behavior in cerebellar lesion patients, *Behavioural Brain Research* 2016;312:285-93.
90. Sgouramani H, Vatakis A. "Flash" dance: How speed modulates perceived duration in dancers and non-dancers, *Acta Psychologica* 2014;147:17-24.
91. Shanahan J, Morris ME, Bhriain ON, Saunders J, Clifford AM. Dance for people with Parkinson disease: What is the evidence telling us? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2015;96(1):141-53.
92. Signorini SG, Fedeli C, Luparia A, Petotto E, Decortes F, Antonini M, et al. Diagnosis, management and rehabilitation strategies in patients with cerebellar disorders: visual function. In: *Paediatric neurological disorders with cerebellar involvement, Diagnosis and Management*. Stefano d'Arrigo, Daria Riva, Enza Maria Valente. Mariani Foundation Paediatric Neurology; 2014;27: 213-20.
93. Song Y-G, Ryu Y-U, Im S-J, Lee Y-S, Park J-H. Effects of dance-based movement therapy on balance, gait, and psychological functions in severe cerebellar ataxia: A case study, *Physiotherapy Theory and Practice* 2019;35(8):756-63.
94. Soppelsa R, Albaret J-M. *Manuel de la Batterie d'Evaluation des Mouvements chez l'Enfant - M-ABC*. Editions du Centre de Psychologie Appliquée. Paris; 2004.
95. Stoodley C, Schmahmann J. Functional topography in the human cerebellum: A meta-analysis of neuroimaging studies, *NeuroImage* 2009;44(2):489-501.
96. Stribling K, Christy J. Creative dance practice improves postural control in a child with cerebral palsy, *Pediatric physical therapy* 2017;29(4):365-9.
97. Tavano A, Grasso R, Gagliardi C, Triulzi F, Bresolin N, Fabbro F, et al. Disorders of cognitive and affective development in cerebellar malformations, *Brain* 2007;130(Pt 10):2646-60.
98. Teixeira-Machado L, Arida RM, de Jesus Mari J. Dance for neuroplasticity: A descriptive systematic review, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2019;96:232-40.

99. Teixeira-Machado L, Azevedo-Santos I, DeSantana JM. Dance improves functionality and psychosocial adjustment in cerebral palsy: A randomized controlled clinical trial, *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 2017;96(6):424-9.
100. Tiemeier H, Lenroot RK, Greenstein DK, Tran L, Pierson R, Giedd JN. Cerebellum development during childhood and adolescence: A longitudinal morphometric MRI study, *NeuroImage* 2010;49(1):63-70.
101. Tierney A, Kraus N. Auditory-motor entrainment and phonological skills: precise auditory timing hypothesis (PATH), *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet] 2014. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2014.00949/abstract>
102. Tierney AT, Kraus N. The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills, *Brain and Language* 2013;124(3):225-31.
103. Toiviainen P, Luck G, Thompson MR. Embodied meter: Hierarchical eigenmodes in music-induced movement, *Music Perception* 2010;28(1):59-70.
104. Trainor LJ, Cirelli L. Rhythm and interpersonal synchrony in early social development: Interpersonal synchrony and social development, *Annals of the New York Academy of Sciences* 2015;1337(1):45-52.
105. Van Dun K, Mitoma H, Manto M. Cerebellar cortex as a therapeutic target for neurostimulation, *Cerebellum* [Internet] 2018 [cited 2020 Feb 15];17(6):777–87. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s12311-018-0976-8>
106. Vicary S, Sperling M, von Zimmermann J, Richardson DC, Orgs G. Joint action aesthetics. *Plos one* 2017;12(7):e0180101.
107. Von Laban R. *Espace dynamique*. Contredanse Editions. France; 2003.
108. Washburn A, DeMarco M, de Vries S, Ariyabuddhiphongs K, Schmidt RC, Richardson MJ, et al. Dancers entrain more effectively than non-dancers to another another's movements, *Front Hum Neurosci* [Internet] 2014;8. Disponible sur: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2014.00800/abstract>
109. Wolff S, Delabary M, Haas A. Can dance contribute to physical, emotional and social aspects of the stroke patient? *IJTRR* 2017;6(1):70.

110. Woodruff Carr K, White-Schwoch T, Tierney AT, Strait DL, Kraus N. Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2014;111(40):14559-64.
111. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production, *Nat Rev Neurosci* 2007;8(7):547-58.

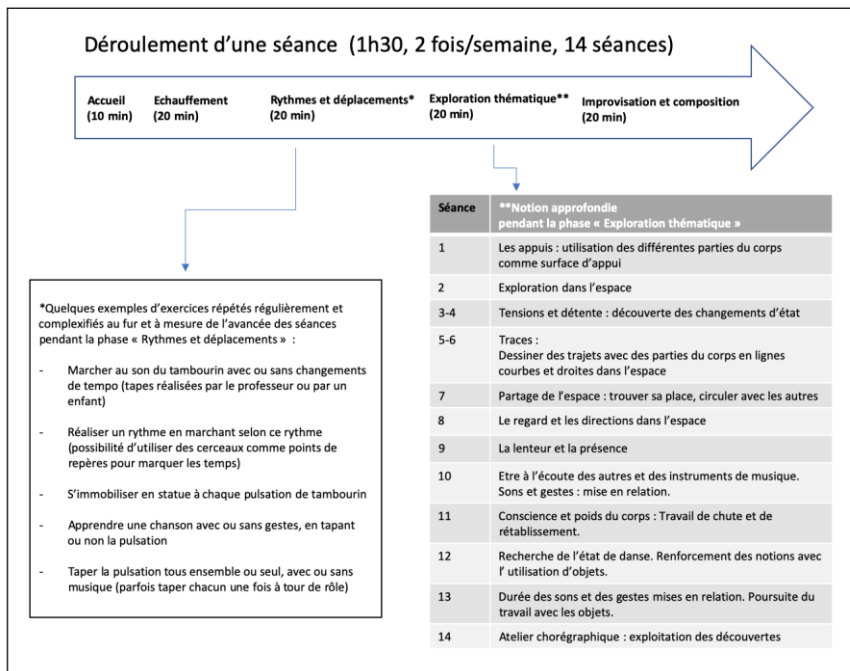


Fig. 1 : Résumé du déroulement des séances de danse.

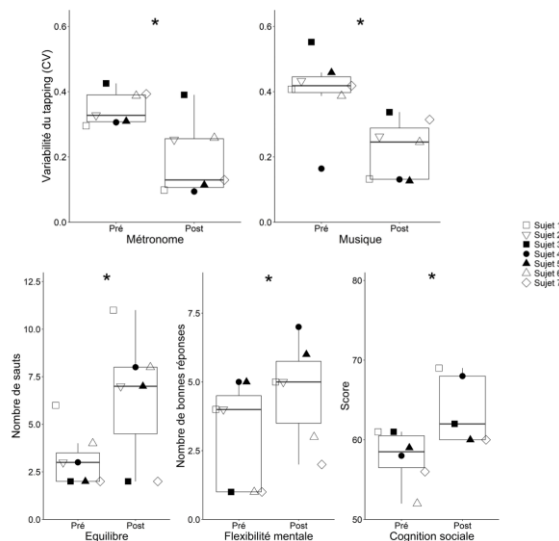


Fig. 2 : Résultats préliminaires obtenus (notes brutes) chez sept patients cérébelleux avant (pré) et après (post) l'entraînement de danse. Chaque forme géométrique désigne un patient et les résultats sont rapportés dans les tâches suivantes : 1) Une tâche de tapping avec métronome et avec musique <sup>[18]</sup> : la mesure est le coefficient de variation (CV) ; 2) Une tâche d'équilibre issue du M-ABC <sup>[94]</sup> consistant en des sauts sur un tapis en temps limité : la mesure est le nombre de sauts effectués ; 3) Une tâche de flexibilité mentale de la TEA-ch <sup>[65]</sup>, « les petits hommes verts » : la mesure est le nombre de bonnes réponses ; 4) Un questionnaire de cognition sociale en situation de vie quotidienne rempli par les parents : la mesure est le score obtenu au questionnaire. Notons que pour la tâche de tapping, plus le score (CV) est faible, meilleure est la performance alors que pour les trois autres tâches, plus le score est élevé, meilleure est la performance. \* = p < 0,5 (tests U de Wilcoxon-Mann-Whitney).