HAL open science

Revue de littérature systématique sur l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans

Léa Ioos

To cite this version:

Léa Ioos. Revue de littérature systématique sur l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03478816

HAL Id: dumas-03478816

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03478816

Submitted on 14 Dec 2021

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Institut de Formation de Masso-Kinésithérapie de Brest

22, avenue Camille Desmoulins

29238 BREST CEDEX 3

Revue de littérature systématique sur l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans

IOOS Léa

En vue de l'obtention du Diplôme d'État de Masseur-Kinésithérapeute

Promotion 2017-2021

Session « Juin 2021 »

Remerciements

Je remercie Sandra Bouvier, avec qui j'ai commencé ce projet, pour les conseils et les connaissances qu'elle m'a apportés.

Je tiens, tout particulièrement, à remercier Marine Cacioppo et Mathieu Lempereur, qui se sont dévoués pour m'accompagner dans la réalisation ce mémoire sur les derniers mois.

Je tiens également à remercier mon père et Laurence pour leurs relectures et soutiens.

Je tiens, pour finir, à remercier Maëlle, pour sa relecture attentive et ses conseils.

Table des matières

I. Introduction....1
I. 1. Situation d'appel....1
I. 2. Introduction de la problématique....2
II. Cadre conceptuel....5
II. 1. Analyse du mouvement....5
II. 2. Membre supérieur....7
II. 3. Population....11
III. Problématisation....24
IV. Méthodologie....25
IV. 1. Revue systématique de littérature....25
IV. 2. Sélection des études....26
IV. 3. Risque des biais et erreurs....29
IV. 4. Échelle de qualité....29
IV. 5. Extraction des données....30
IV. 6. Analyse des articles....30
V. Résultats....33
V. 1. Sélection des études....33
V. 2. Description des études....35
VI – Discussion....40
VI. 1. Résultats principaux de la revue systématique de littérature....40
VI. 2. Résultats principaux des études incluses....40
VI. 3. Limites et biais de l'étude....50
VI. 4. Perspective....51
VI. 5. Protocole type....52
VII – Conclusion....53
VIII - Bibliographie....54

Liste des figures

- Figure 1 : Diagramme de flux.....p.34

Glossaire

- Grasping : Phase de manipulation de la préhension
- Reaching : Phase de transport de la préhension

Liste des sigles et abréviations

- HAS : Haute autorité de santé
- MS : Membre supérieur
- OMS : Organisation Mondiale de la santé
- PC : Paralysie cérébrale
- PT : Enfant né avant terme (prématuré)
- TD : Enfant avec un développement typique
- TSA : Trouble du spectre de l'autisme
- 3D : Tri-dimensionnel

I. Introduction

I. 1. Situation d'appel

La paralysie cérébrale (PC) est la première cause de handicap moteur chez l'enfant [1]. Plus de la moitié de ces enfants affectés sont sujets à des douleurs régulières [2]. C'est un paramètre indispensable à prendre en compte dans la prise en charge. En effet, lors d'un stage en centre de rééducation pédiatrique à l'étranger, j'ai été confrontée à leur douleur, lors de leur prise en charge ou leur quotidien.

La douleur en pédiatrie est un sujet évoqué en formation initiale mais qui reste difficile à appréhender, étant donné son caractère subjectif et les nombreux facteurs qui peuvent l'influencer [3].

Ce stage a renforcé ma volonté approfondir mes connaissances sur la douleur infantile. Je m'oriente vers une pratique libérale en pédiatrie. Les enfants paralysés cérébraux peuvent être suivis dans les cabinets de ville, et il sera, pour moi, nécessaire d'être informée sur ce domaine et de la prendre en charge lors des séances.

Cependant, face à la complexité du sujet, j'ai donc décidé de le réorienter sur les conseils de Sandra BOUVIER, masseur-kinésithérapeute diplômée d'État (MKDE).

En effet, la paralysie cérébrale peut toucher l'ensemble du corps, et, en fonction de l'atteinte de la maladie, le handicap va s'exprimer de différentes manières. Il est donc important de connaître les capacités déficientes de l'enfant pour les intégrer à la prise en charge. Le but est d'y pallier pour atténuer le handicap.

La déficience pour laquelle un kinésithérapeute va avoir un impact important affecte principalement le mouvement. Un bilan précoce des capacités motrices du patient est donc essentiel pour adapter la prise en charge et limiter au maximum le handicap.

Une des activités les plus fréquemment touchées chez ces enfants est la marche [4]. Aujourd'hui, celle-ci peut être mesurée objectivement grâce à l'analyse 3D du mouvement, et notamment grâce aux systèmes optoélectroniques. Cependant, le membre supérieur (MS) et la fonction de préhension sont également affectés par la paralysie cérébrale, tout en étant beaucoup moins étudiés.

Mon sujet sur la douleur des enfants atteints de paralysie cérébrale s'est donc réorienté sur l'étude de l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez les enfants.

I. 2. Introduction de la problématique

Dans la littérature actuelle, l'étude de l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez le tout petit (entre 1 et 5 ans) est peu développée.

En effet, les articles sont nombreux de la période allant de la naissance à 1 an. Cela s'explique par le fait que le développement des premières étapes du mouvement et les mouvements spontanés de l'enfant, appelés « *general movement* » y sont étudiés, et peuvent aider au diagnostic.

A l'opposé, les analyses de mouvement chez l'adulte ou l'enfant de plus de 5 ans sont plus simples à étudier car la tâche effectuée est assimilée par les sujets. Le nombre d'articles est alors plus conséquent pour cette tranche d'âge. En effet, à partir de 5 ans, l'enfant a une bonne compréhension des consignes, ce qui facilite l'étude de la préhension.

L'écart dans les études (entre la période préscolaire et la période scolarisée) se retrouve chez l'enfant avec un développement typique. En revanche, il est encore plus évident chez l'enfant avec une atteinte du membre supérieur.

Lors d'une étude sur une pathologie, la connaissance du mouvement d'un enfant avec un développement typique, est indispensable pour pouvoir déceler les spécificités du trouble moteur.

Les troubles neurologiques englobent un certain nombre de maladies. Parmi elle, la paralysie cérébrale est une pathologie rare. Cependant, elle est la cause la plus fréquente de handicap moteur chez l'enfant. La PC touche environ une naissance sur 500 en Europe [5]. Mais, elle reste, malgré tout, peu connue que ce soit par les professionnels ou le grand public [1].

Cependant, ce n'est pas la seule pathologie qui entraîne une atteinte de la réalisation des mouvements avec les MS chez l'enfant. En effet, l'autisme est une maladie du neurodéveloppement répandue et très peu étudiée en termes d'analyse du mouvement du membre supérieur. Les enfants avec un trouble du spectre de l'autisme (TSA) représentent environ 8 000 naissances chaque année, ce qui équivaut à environ 1 personne sur 100 d'après les données de l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale) [6]. Dans les 2 cas, les membres supérieurs sont affectés du point de vue de l'utilisation du MS. L'ensemble des articles sur le thème de l'analyse 3D du mouvement chez les enfants sera donc intégré à cette recherche, que l'enfant ait un développement typique ou une pathologie.

Le deuxième objectif de cette recherche repose sur l'étude du mouvement du MS pour en connaître l'atteinte et être le plus efficace dans la prise en charge. Quantifier le mouvement et analyser les problèmes permettent donc de mettre en lumière les difficultés de l'enfant en vu d'adapter le traitement proposé.

A l'heure d'aujourd'hui, aucun gold standard sur le membre supérieur n'est défini, contrairement au membre inférieur, où le système optoélectronique est perçu comme une référence.

Ainsi, au fil des recherches, une diversité dans les écrits sur le sujet de l'analyse 3D du mouvement apparaît. Mais, il n'existe pas de revue systématique qui synthétise toutes ces informations, pour faciliter les recherches et la transmission des informations.

L'objectif de ce mémoire vise à étudier les protocoles d'analyse 3D du MS chez les enfants de 1 à 5 ans ayant un développement typique ou atteints de pathologies.

Les résultats permettront de regrouper les informations présentes actuellement dans la littérature. Cette synthèse facilitera la documentation sur ce sujet en les recueillant dans une seule étude. Le but est également d'essayer de créer un protocole type pour l'analyse du mouvement, ce qui permettra une facilité dans la comparaison des résultats de ces protocoles.

II. Cadre conceptuel

II. 1. Analyse du mouvement

II. 1. 1. Définition du mouvement

Le mouvement est une action mécanique qui provoque le déplacement d'un corps ou d'une partie d'un corps par rapport à un point fixe, ce qui entraîne une modification de la position dans l'espace [7]. Le mouvement du corps humain, qu'il soit volontaire ou réflexe, est l'un des déterminants indispensables à la vie. Il dépend de l'anatomie et donc des fonctions musculaires, squelettiques et tendineuses mais également des fonctions nerveuses et cérébrales qui jouent un rôle dans son contrôle. Tout mouvement nécessite un apprentissage moteur et donc une répétition. Ce mouvement peut être modifié en cas de malformations congénitales, de troubles musculo-squelettiques, de troubles neuromoteurs (ce qui est le cas pour la paralysie cérébrale) ou encore de troubles du neurodéveloppement (comme l'autisme) [8].

II. 1. 2. Évolution de l'analyse du mouvement

L'analyse du mouvement se base sur l'observation d'un déplacement du corps dans l'espace. Au départ, cette analyse empirique était basée sur l'expérience et les sens [9]. A la fin du XIXème siècle et grâce à Etienne Jules Marey et d'Edward Muybridge, les premiers dispositifs d'enregistrement du mouvement apparaissent en utilisant les chronophotographies (succession de photographies basées sur un même support avec un intervalle de temps régulier). Cette méthode permet de décomposer les mouvements de manière plus précise et scientifique, plutôt qu'en se fiant uniquement à la vision. Avec les avancées scientifiques, l'analyse du mouvement se base maintenant sur les nouvelles technologies via des outils de mesure [10]. L'analyse du mouvement couple deux concepts. La biologie est la science de la vie. La mécanique est l'étude de la force et du mouvement. Ces deux notions forment la biomécanique qui est une science identifiant les forces internes et externes qui agissent sur le corps humain [9].

La biomécanique peut être étudiée dans des laboratoires d'analyse du mouvement afin de mieux comprendre les anomalies du mouvement des différentes parties du corps. Ces examens, indolores et relativement courts, permettent une meilleure prise en charge, rééducative ou thérapeutique [11]. Les systèmes d'analyse du mouvement sont nombreux (pistes de marche électronique, accéléromètres, capteurs électromagnétiques, systèmes optoélectroniques, etc.). Il est d'ailleurs possible de combiner plusieurs systèmes d'évaluation du mouvement et de les synchroniser.

II. 1. 3. Système optoélectronique

Le système optoélectronique est le système le plus utilisé et de référence pour l'analyse quantifiée de la marche. Ce système d'analyse 3D fournit des mesures plus fiables mais la mise en place reste plus compliquée et nécessite des compétences spécifiques. Ce système se base sur la stéréophotographie, principe qui combine les informations des différentes caméras infra-rouges présentes dans une salle pour construire la position 3D des marqueurs au cours du temps. Les marqueurs sont situés sur des repères anatomiques du corps humain et permettent de suivre la trajectoire en temps réel grâce à une grande précision des données. Une phase de calibrage est indispensable en amont pour déterminer la position des caméras entre elles et pour les déterminer par rapport au repère global du laboratoire [12]. Après l'acquisition des données brutes du mouvement, un logiciel de modélisation biomécanique est nécessaire pour pouvoir réaliser les différentes phases de traitement et d'analyse des données [13]. Celle-ci sont ensuite traitées informatiquement [14].

Il existe deux grands types de systèmes optoélectroniques :

- à marqueurs passifs : Ce système est plus courant en pratique. Il se base sur plusieurs caméras optoélectroniques et sur des marqueurs réfléchissants. La caméra émet une lumière infrarouge qui va se réfléchir sur les capteurs, avant être renvoyée vers les caméras. Avec ce type de système, le nombre de marqueurs n'a pas de limite. Il permet une liberté de déplacement plus importante. Il est plus fiable et précis et ne nécessite pas d'alimentation. Mais il faut cependant être vigilant au placement des caméras, des marqueurs et du glissement des marqueurs sur la peau, au risque de modifier les données.

Ce sont, par exemple, les systèmes Elite, Vicon, ou Qualisys [15].

- à marqueurs actifs : Les marqueurs sont des diodes électroluminescentes qui produisent de la lumière infrarouge. Elle est captée par 3 cellules photosensibles pour reformer l'information en 3 dimensions. Mais il est nécessaire que ces diodes soient constamment alimentées et le nombre de marqueurs est limité. Ce sont, par exemple, les systèmes comme Selpot ou Optotrack [15].

L'International Society of Biomechanics [16] a proposé une recommandation des emplacements de capteurs pour faciliter l'étude de ces analyses, en ayant la même base de données et de communication. Elle se fonde sur les positions des repères osseux et les systèmes de coordonnées de segments du corps [16].

L'analyse 3D permet de fournir des données objectives, précises et quantitatives aidant à définir les dysfonctionnements du système musculo-squelettique et des mécanismes pathologiques correspondants. Ces évaluations donnent des informations sur des paramètres spatio-temporels et cinématiques en fonction du mouvement demandé et des paramètres étudiés. Grâce à cette technique, le thérapeute est en mesure de proposer une rééducation concordant aux besoins de chaque patient [13].

II. 2. Membre supérieur

II. 2. 1. Caractéristiques du membre supérieur

Relié au tronc par l'épaule, le membre supérieur comprend le bras, l'avant-bras et la main. Le MS permet l'orientation du membre dans l'espace. Il est construit sur le même schéma que le membre inférieur avec un os proximal, deux os distaux et des extrémités réduites et poly-articulées. Cependant, les structures sont plus fines, avec une mobilité articulaire plus importante. Il contient également un système musculaire plus développé et poly-articulaire pour permettre cette fonction de préhension.

Le membre supérieur est composé de l'humérus dans le bras ; de 2 os dans l'avant-bras : le radius en latéral et l'ulna en médial ; et des os du complexe de la main. Ces os sont agencés en 3 régions articulaires : l'épaule, le coude et le complexe poignet/main. Le bon retentissement fonctionnel de chaque articulation permet d'atteindre les amplitudes articulaires maximales.

L'épaule est composée de 3 os (la scapula, l'humérus et la clavicule) qui englobent 5 articulations (« 3 articulations vraies »: la gléno-humérale, la sterno-costo-claviculaire, l'acromio-claviculaire ; et deux pseudos articulations : la scapulo-thoracique, et la bourse séreuse sous acromio-deltoïdienne). Ce complexe possède 3 degrés de liberté, ce qui permet l'orientation du membre dans les 3 différents plans de l'espace. Les 6 mouvements majeurs de l'épaule sont la flexion et l'extension pour le plan sagittal, l'abduction et l'adduction pour le plan frontal et les rotations médiales et latérales pour le plan transversal.

Le coude, quant à lui, a une position intermédiaire. C'est l'intersection entre l'humérus au niveau du bras et le complexe radius/ulna qui forme l'avant-bras. Le coude est composé de 3 articulations : l'huméro-ulnaire, l'huméro-radiale et la radio-ulnaire proximale. Il est composé de deux mouvements majeurs, la flexion et l'extension (avec un seul degré de liberté dans le plan sagittal). Le coude va également avoir un rôle dans le mouvement de prono-supination.

Le poignet possède 3 degrés de liberté et regroupe les mouvements de flexion/extension et d'inclinaison. Ces mouvement permettent de régler la position de la main dans l'espace. Il assure donc la fonction de préhension de la main. Le poignet est composé du complexe distal ulna/radius de l'avant-bras et des os du carpe. Le poignet a, lui aussi, 3 articulations : la radio-ulnaire distale, la radio-carpienne et la médio-carpienne.

Le complexe de la main est l'élément effecteur et distal du membre supérieur. L'utilisation de la main comprend deux fonctions (le toucher et la préhension). La main est constituée du carpe (composé de 8 os), des métacarpiens (comptant 5 os), et des phalanges (regroupant 14 os), pour un total de 27 os. C'est une zone polyarticulée et complexe permettant le développement de l'expression écrite ou parlée par la gestuelle des mains.

Toutes ces articulations ne sont évidemment pas formées uniquement d'os. Et l'intégralité des structures doit être prise en compte pour réaliser un bon mouvement. 12 groupes musculaires existent au membre supérieur (4 pour l'épaule, 2 pour le bras, 3 pour l'avant-bras, et 3 pour la main) avec un ensemble de 54 muscles. Les autres structures à inclure sont les tendons, les gaines et les ligaments qui veillent au bon fonctionnement des mouvements du membre supérieur, et des structures nerveuses, vasculaires et tissulaires [17], [18].

II. 2. 2. Définition et caractéristiques de la préhension

La préhension est définie comme la capacité de saisir un objet. C'est un mouvement volontaire du corps par rapport à l'objet qui permet de le déplacer. Elle assure de nombreuses fonctions comme l'alimentation, le toilettage, le travail, la communication, ou encore la création d'outils, etc [18]. Pour obtenir une bonne préhension, le fonctionnement correct de l'ensemble des degrés de liberté des articulations est indispensable. A cela s'ajoute l'intégrité des structures ostéo-articulaires, des muscles, de l'appareil de contrôle (sensitif, visuel, tactile) et de l'intégrité des voies nerveuses pour permettre une préhension efficace [18].

La préhension peut se diviser en 2 grandes phases.

- La première est le transport jusqu'à l'objet que l'on appelle aussi "*reaching*". Elle implique principalement les muscles et articulations proximales du membre supérieur, mais également le système visuel permettant de déterminer les coordonnées d'un point dans l'espace. En fixant l'objet, il est donc possible de déterminer son centre et sa trajectoire pour réaliser le mouvement.

La vitesse est importante dans cette phase, car le but est d'atteindre l'objet le plus vite possible. Cependant, elle ne permet pas d'avoir de possibilités d'ajustement de la trajectoire si celle-ci n'est pas correcte [19].

- La deuxième phase est la manipulation de l'objet qui fait intervenir les pinces et les prises, et qui peut également s'appeler le "*grasping*" [19]. Le grasping est basé sur l'opposition du pouce vers les autres doigts qui forme des pinces et des prises. 2 types de prises peuvent se différencier : celle utilisant uniquement les doigts ou celle utilisant la paume de la main et les doigts. La première catégorie englobe les pinces bi-digitales (terminales, subterminales, ou subtermino-latérales) et les pinces multi-digitales (tri-digitales et tétra-digitales). La deuxième catégorie comporte les prises sphériques, cylindriques, en crochets, de soutien, de suppléance, centrées, etc [18]. Cette deuxième phase implique principalement les muscles et les articulations distales du membre supérieur, en faisant également intervenir le calcul visuel de la forme, du poids et de la taille de l'objet. Ainsi, une fois le membre placé dans la bonne position, l'identification des caractéristiques de l'objet permet de l'attraper [19].

Dans ces deux phases, une composante anticipatoire est à prendre en compte. En effet, Jeannerod [19] a démontré que le début du positionnement des doigts commençait avant la fin de la phase de transport. Cette anticipation intervient d'abord en étirant les doigts. Puis les doigts prennent la forme de l'objet et se ferment avant d'arriver à son contact. La fin de la phase de transport s'effectue à partir du moment où la main touche l'objet, ce qui définit le début de la phase de manipulation.

La coordination et l'anticipation de deux phases sont indispensables pour une bonne préhension, surtout si l'objet est fragile ou petit [19]. De plus, une bonne stabilité de la tête et un couplage avec le tronc sont nécessaires pour réaliser le mouvement [20].

L'apprentissage du reaching est compliqué chez les enfants atteints de troubles neuromoteurs, à cause de l'atteinte neurologique et de la complexité biomécanique du geste [21]. Les enfants ayant un développement typique peuvent normalement atteindre et attraper des objets aux alentours de 3 à 5 mois [22].

Cependant, le reaching et le grasping ne sont pas matures au même moment [19]. En effet, le reaching apparaît chez les enfants à 4 mois puis se perfectionne jusqu'à 1 an pour devenir plus performant et notamment plus délicat [22]. A 6 mois, la fonction de coude devient effective dans le mouvement et à 2 ans, l'enfant a une capacité de reaching proche de celle de l'âge adulte [23]. En ce qui concerne le grasping, il débute entre 6 et 9 mois et sera finalisé vers 11 - 12 ans [24].

II. 3. Population

II. 3. 1. Délimitation de l'âge de cette population

La petite enfance, entre 0 et 6 ans [25], est une phase indispensable dans la vie de la personne car elle va déterminer l'apprentissage, la qualité de la santé, et les comportements de la personne pour le reste de sa vie. Durant cette période, il est nécessaire d'agir pour prévenir et réduire au maximum les incapacités et les affections potentielles que l'enfant risque de développer [26].

Le but est d'agir dans la petite enfance pour détecter les déficiences rapidement et être plus efficace dans la rééducation. La limite haute de l'âge de cette population est donc de 5 ans, avant leur entrée dans la période scolaire obligatoire [27]. [1]

La limite basse de la population est définie à partir de 1 an, car elle se base sur les premières étapes de préhension bimanuelle. Les premières manipulations bimanuelles d'objets commencent vers 3 à 4 mois mais sont faites de façon symétrique (les deux mains attrapent l'objet en même temps).

1Lorsque les limites de l'âge de la population ont été décrites dans cette recherche, la période scolaire obligatoire était encore définie à partir de 6 ans. Pour information, cette période est dorénavant obligatoire à partir de 3 ans, depuis la rentrée de septembre 2020. [28]

Après avoir privilégié la préhension uni-manuelle, une réapparition de cette utilisation bimanuelle se fait à partir de 12 mois mais de façon asymétrique. Elle serait due à des changements neurologiques et des capacités posturales qui seraient couplées au développement de la marche. Cette coordination bimanuelle associative se développe alors de manière asymétrique avec une seule main allant chercher l'objet et continue de se développer après 1 an [29].

II. 3. 2. Paralysie Cérébrale

La paralysie cérébrale (PC) est une maladie fréquente chez l'enfant. Elle se définit comme « *un groupe de troubles du développement du mouvement et de la posture qui cause des limitations d'activité, et qui sont attribués à des perturbations non progressives qui ont lieu pendant le développement du cerveau fœtal ou infantile de l'enfant. Les troubles moteurs de la paralysie cérébrale sont souvent accompagnés de perturbations des sensations, de la cognition, de la communication, de la perception et/ou du comportement, et/ou de troubles épileptiques* », d'après Bax en 2005 [30].

Cette définition de la PC remonte au XIXème siècle. En effet, John Little, en 1861, la définit sous le terme de « syndrome de Little » correspondant à une forme de diplégie spastique [31].

Puis la PC fut abordée par Sigmund Freud et Sir William Osler. Reprise à partir du milieu des années 1940, les pères fondateurs de l'académie américaine de la Paralysie Cérébrale et de la médecine développementale aux États-Unis (composés de Carlson, Crothers, Deaver, Fay, Perlstein, and Phelps) s'accompagnent du Club de Little au Royaume-Uni (composés de Mac Keith, Polani et Ingram) pour continuer de développer cette définition [30].

En 1964, Bax [32] définit la PC comme « *un trouble du mouvement, de la posture dû à une anomalie ou une lésion du cerveau immature* ».

En France, Guy Tardieu en 1969, suivi de Claudine Amiel-Tison en 1997 [4], évoquent le concept d'infirmité motrice avec des troubles moteurs non évolutifs dus à une lésion cérébrale « *conséquence d'une lésion pré, péri ou postnatale précoce* » pouvant « *s'accompagner d'atteintes sensorielles et d'atteintes partielles de fonctions supérieures à l'exception d'une déficience intellectuelle* » [4].

Toutes ces modifications et définitions ont permis d'obtenir la définition de Bax en 2005 [30] (citée précédemment) qui est, à l'heure d'aujourd'hui, la définition la plus complète que l'on ait sur la PC.

La PC est anciennement connue sous les noms de :

- IMC, Infirmité Motrice Cérébrale, qui correspondent à un trouble moteur sans retard intellectuel [1],
- et IMOC, infirmité motrice d'origine cérébrale, correspondant à un trouble moteur associé à un retard intellectuel et à des déficiences sensorielles [1].

La PC est la première cause de handicap moteur de l'enfant [1]. Elle touche à peu près 2 enfants sur 1 000 naissances, ce qui correspond à 1 500 enfants chaque année, parmi les 700 000 naissances par an en France [4]. La PC impacte énormément la santé publique avec une augmentation des coûts au fil des années. Elle constitue la forme la plus sévère et précoce de déficiences motrices due à un trouble du développement de l'enfant [33].

La prématurité ou le faible poids de naissance sont des facteurs de risque d'être atteint de paralysie cérébrale. En effet, la prévalence augmente à 1% des naissances si l'enfant est né entre 32 et 36 semaines d'aménorrhée (SA) et/ou avec un poids compris entre 1 500 et 2 500 g. Elle s'accroît à 6% si la naissance a lieu avant 32 SA et/ou si le poids de l'enfant est inférieur à 1 500 g.

Mais il existe d'autres facteurs de risque. 80% des étiologies sont d'origine anténatale, 10% suite à un accident per-partum et 10% sont dues à des séquelles post-natales [34].

Les étiologies sont multiples et peuvent être [4], [35] :

- un retard de croissance intra-utérin dû à une pathologie vasculaire (par exemple, une occlusion vasculaire ...),
- l'hypertension gestationnelle,
- des risques toxiques dus à une exposition maternelle (alcool, médicament),
- des infections chez la mère ou du système nerveux de l'enfant (pendant la grossesse ou lors de l'accouchement),
- un enfant issu d'une grossesse multiple (car le taux de grossesse prématuré est plus élevé),
- un excès de risque dû au sexe masculin (car le volume de la substance blanche est réduit chez un garçon prématuré comparé à un garçon né à terme alors que le volume de la substance blanche chez la fille reste identique) [36],
- des facteurs génétiques [37],
- des malformations congénitales augmentées [38],
- l'asphyxie périnatale entraînant une hypoxie à la naissance dans 10 % des cas,
- ou encore le stress, la nutrition, l'insuffisance respiratoire, les médicaments qui peuvent également influencer les facteurs de risque post-nataux.

En ce qui concerne les facteurs de risques, un traumatisme lors de l'accouchement peut entraîner une paralysie cérébrale. La césarienne avant l'accouchement, tout comme le transfert in utero des prématurés de moins de 33 SA limiterait le risque de développement d'une PC dû au traumatisme de l'accouchement. Le dernier facteur est la considération éthique sur la prématurité. En effet, un enfant prématuré est plus sujet à développer une PC. La poursuite des soins ou l'extraction précoce de l'enfant va donc amplifier le risque d'avoir un enfant prématuré, tandis qu'un arrêt des soins et une interruption volontaire de grossesse diminueront la prévalence de la PC.

Cependant, l'étiologie reste parfois inconnue [4]. Si certaines causes de la PC sont encore inconnues, dans plus de la moitié des cas, l'identification de cette cause est possible, ce qui permet un diagnostic précoce [1].

Le diagnostic précoce est une des clés pour avoir un accompagnement adapté, même si ce diagnostic est impossible avant 3 à 6 mois [1]. La littérature actuelle essaie, par le biais d'analyse vidéo et de mouvement, de diagnostiquer ces enfants le plus tôt possible, notamment via les mouvements généraux de l'enfant, définit en anglais par le terme de « *general mouvement* ». Les « *general movements* » sont le répertoire des mouvements spontanés du corps de l'enfant permettant l'évaluation du développement moteur. Ils apparaissent à partir de 7-8 semaines après la naissance et persistent jusqu'à 3-4 mois. Ils sont ensuite remplacés par les mouvements volontaires. Leur absence entre 9 et 20 semaines est un signe évocateur de trouble moteur comme la PC [39].

Le réseau européen SCPE (Surveillance of Cerebral Palsy in Europe 2000) recommande des critères qui permettent de savoir si l'enfant est atteint, ou non, de paralysie cérébrale [4]. Les critères d'inclusion dépendent des caractéristiques cliniques de l'enfant et ne sont pas définis par l'étiologie de la maladie. L'enfant doit être âgé de 4 ans pour être sûr que l'enregistrement du diagnostic soit optimal. En effet, les troubles peuvent évoluer durant les premières années, et un trouble qui évolue ne peut pas être assimilé à une paralysie cérébrale. Si l'enfant décède avant 2 ans, il est exclu car le diagnostic ne pourra pas être confirmé, de même s'il a une hypotonie isolée comme seul signe neurologique [40].

5 formes de PC peuvent être définies : spastiques bilatérales, spastiques unilatérales, dyskinétiques dystoniques, dyskinétiques choréo-athétoses et ataxiques [4].

La forme spastique est due soit :

- à une atteinte du cortex moteur et des neurones supérieurs, avec pour conséquence une hémiplégie

- à une atteinte du tractus pyramidal, avec pour conséquence une diplégie (paralysie de deux parties du corps identiques et symétriques)
- à des lésions corticales diffuses, avec pour conséquence une quadriplégie (paralysie des 4 membres)

Elle est définie par une augmentation de la contraction musculaire, perturbant le contrôle moteur, et entraînant une hypertonie, une hyper-réflexie et des signes pyramidaux [1], [34].

La forme dyskinétique est due à des lésions des noyaux gris centraux (donc à la base des ganglions), du tractus extra-pyramidal, ou des nerfs crâniens. Elle est définie par des mouvements involontaires, non coordonnés, lents et même choréiques dans certains cas [1], [34].

La forme ataxique est due à une atteinte du cervelet provoquant un syndrome cérébelleux avec une faiblesse musculaire, un défaut de coordination, un tremblement, et des problèmes d'équilibre [1], [34].

Les formes mixtes sont une combinaison des symptômes, des signes et des sites des différentes lésions [1], [34].

En France, une grande prédominance des formes spastiques représente 85% des PC, dont 1/3 d'hémiplégie. Les formes de dyskinésie englobent 7% des enfants atteints de PC tandis que la forme ataxique représente 5% [4].

En fonction de l'atteinte, le handicap va être très différent. Un des paramètres touchés chez ces enfants est la marche. A 5 ans, 53% arrivent à marcher sans aide technique, 16% utilisent des aides et 31% d'entre eux sont en incapacité de marcher. Cette capacité de marche est définie par la Gross Motor Function Classification Scale (GMFCS) qui est une échelle simple cotée de 1 à 5 : où 5 est un enfant non marchant totalement dépendant pour ses déplacements [4], [41].

Une deuxième fonction touchée peut être l'utilisation du membre supérieur. Le Manual ability classification system (MACS) est une échelle permettant d'étudier l'utilisation du membre supérieur. Basé sur le niveau de limitation du membre et sa capacité de préhension, cette échelle est cotée de 1 à 5 où 5 est un enfant en incapacité de manipuler des objets ou d'effectuer des tâches simples avec ces mains. Cette classification reflète l'utilisation habituelle de l'enfant, et non sa capacité maximale [42], [43].

Mais les troubles sont divers et ne correspondent pas uniquement à des déficiences motrices. En effet, l'enfant peut également avoir des déficiences intellectuelles, des troubles visuels, auditifs, neurosensoriels, de la déglutition, de la parole, du comportement et de l'apprentissage, des problèmes pulmonaires ou gastro-intestinaux, des crises d'épilepsies ou une désorientation spatiale [1]. Cela peut entraîner une perte d'autonomie importante.

Le traitement de la PC change en fonction de l'atteinte et de la sévérité des déficiences. Aucun traitement curatif n'existe aujourd'hui, mais le but de la prise en charge est d'améliorer la qualité de vie [34]. Différentes disciplines de rééducation interviennent pour cette pathologie : la kinésithérapie, l'ergothérapie, l'orthophonie, la psychomotricité, la psychologie. Les objectifs sont d'éviter les raideurs, empêcher les déformations articulaires, favoriser la communication, et les activités de la vie quotidienne, diminuer les douleurs existantes [44].

La kinésithérapie participe à la réalisation de ces objectifs. En effet, de nouvelles techniques sont en train d'apparaître comme la rééducation intensive, ayant pour but l'amélioration des mobilités ; ou encore la rééducation participative qui améliore les fonctions motrices. La douleur est un paramètre indispensable à prendre en compte, car plus de la moitié des enfants souffrent. La recherche des facteurs déclenchant cette douleur permet ensuite d'adapter les outils et techniques employées [2].

L'analyse du mouvement vise donc à suivre l'évolution du patient. Elle peut également permettre de connaître l'ensemble des troubles moteurs de l'enfant. La prise en charge pourra ensuite être ajustée dans le but d'avoir le meilleur impact sur la vie du patient.

Le pronostic vital est moins bon chez les enfants atteints de PC. Cependant, ce pronostic dépend de la sévérité de l'atteinte. Si le déficit moteur et intellectuel est faible, l'intégration à l'école ou au travail sera possible, même si une aide des proches sera toujours nécessaire. En revanche, dans des atteintes plus graves, certains paramètres vont diminuer l'espérance de vie, notamment en ce qui concerne l'alimentation de la personne, ou diminuer la possibilité d'intégration sociale [33].

De plus, les personnes atteintes de PC ont un âge de décès plus jeune que des personnes saines. En effet, d'après l'étude de Duruflé sur les causes médicales de décès dans la paralysie cérébrale, les personnes ayant une paralysie cérébrale ont une durée de vie comprise entre 45 et 54 ans, et dont la majorité des décès est due à une cause circulatoire et respiratoire [45].

Le but d'une prise en charge est donc de diminuer l'impact du handicap, tout en ayant la meilleure qualité de vie possible compte tenu des troubles.

II. 3. 3. Trouble du spectre autistique

L'autisme est défini comme *« un trouble du développement caractérisé par des perturbations dans les domaines des interactions sociales réciproques, de la communication et par des comportements, intérêts et activités au caractère restreint, répétitif»* par la Classification internationale des maladies [46].

Le terme autisme a été créé par le psychiatre Eugen Bleuler en 1911 [47], cependant, sa désignation ne correspond pas à la définition actuelle.

Il faut attendre Léo Kanner, en 1943, pour obtenir une définition de l'autisme typique [48]. Kanner écrit dans son étude : *« Ces caractéristiques forment un syndrome unique, jusqu'à présent non signalé, qui semble être assez rare, encore qu'il est probablement plus fréquent que ce qui est indiqué par la carence des cas observés. Il est tout à fait possible que certains de ces enfants aient été vu comme ayant un retard mental ou schizophrènes »* [49]. Il est suivi par Hans Asperger, qui, sans connaître l'article de Kanner, décrit ce trouble de la même façon en 1944 [49], [50].

L'autisme est un trouble du neuro-développement. Le neuro-développement englobe les mécanismes qui permettent la mise en place des réseaux du cerveau dès le plus jeune âge et qui sont impliqués dans la vision, le langage, la motricité, l'audition ou les interactions sociales. Si l'un de ces réseaux est altéré, des troubles apparaissent, appelés troubles du neuro-développement. Ils se manifestent rapidement dans le développement et sont donc repérables avant l'école. Une prise en charge précoce permet un accompagnement adapté pour pallier ces troubles du développement et limiter le sur-handicap [51].

L'autisme est une maladie qui se manifeste généralement avant l'âge de 3 ans [52]. Cependant, il en existe plusieurs formes avec des signes d'intensités variables, que l'on peut déceler dès la naissance ou tout au long de la vie. C'est pour cette raison que l'on parle dorénavant de troubles du spectre autistique (TSA) car ce terme englobe le panel varié et hétérogène des signes cliniques qui varient en fonction de l'intensité et de la fréquence de ses particularités [52].

Les manifestations sont différentes en fonction du trouble qui peut toucher les cinq sens, la sensibilité, le système vestibulaire, mais également le système proprioceptif [51]. De plus, l'enfant peut également développer des difficultés d'apprentissage et d'insertion sociale [52].

La classification internationale des maladies (CIM-10) est utilisée comme référence pour les troubles du développement [53]. Elle était, à la base, conçue pour déterminer les différentes causes de mortalités et de morbidités.

Elle est publiée par l'Organisation Mondiale de la Santé, qui est chargée de l'actualiser régulièrement grâce à des critères diagnostiques valides. Cette classification est utilisée à l'international par les professionnels de santé et est recommandée par la Haute Autorité de Santé (HAS) [54]. Dans la 10ème édition, l'autisme est défini selon la triade autistique et la classe dans la catégorie « *F : Troubles mentaux et du comportement »,* dans la section « *80 : Troubles du développement psychologique »* et dans la sous-section *« 84 : Troubles Envahissants du Développement (TED) ».*

Il en existe 8 catégories : l'autisme infantile, l'autisme atypique, le syndrome de Rett, les autres troubles désintégratifs de l'enfance, l'hyperactivité associée à un retard mental et à des mouvements stéréotypés, le syndrome d'Asperger, les autres troubles envahissants du développement non spécifiés et sans précision [54].

Entre 0 et 6 mois, les signes sont caractérisés en trois catégories : les troubles de communication, les troubles d'interactions sociales et les autres manifestations.

Entre 6 et 12 mois, la catégorie des comportements répétitifs ou stéréotypés est rajoutée aux trois catégories présentes.

À partir de 1 an, la catégorie des autres manifestations s'efface progressivement pour laisser place aux trois autres catégories. Elles deviennent les signes principaux de l'autisme [57].

On estime le nombre de personnes atteintes de TSA à environ 700 000 personnes. Environ 8 000 enfants naissent de TSA chaque année, avec une prédominance de garçons, ce qui équivaut à une personne sur 100 naissances d'après les données de l'INSERM [52]. Il est fréquent que ces personnes soient également atteintes de déficiences intellectuelles (environ 50% des personnes touchées) [6], [52].

Au vu de cette diversité des TSA, il est compliqué de disposer de données fiables. Cependant, dans tous les pays, le taux de prévalence est à la hausse. Elle peut s'expliquer par l'évolution plus globale de la définition et des critères de diagnostics plus précis, ou encore par une estimation antérieure sous-estimée, due au manque d'informations, mais également par une meilleure détection de la maladie [56].

L'origine de l'autisme proviendrait d'une anomalie dans le neuro-développement anténatal d'après l'INSERM [52]. Ce serait un défaut de mise en place et d'organisation de certains réseaux cérébraux spécialisés qui influencerait la communication et les comportements. Cependant, plusieurs centaines de gènes ont été définis comme pouvant conduire à une plus grande susceptibilité à l'autisme, s'ils sont altérés.

Le TSA est donc défini comme une maladie d'origine multifactorielle, avec une forte prédominance de la composante génétique, même si des facteurs environnementaux, médicamenteux, familiaux ou de prématurité peuvent intervenir [52].

Le diagnostic est très complexe mais il est indispensable de la part des parents et des professionnels de la petite enfance d'être vigilants aux premiers signaux : absence de babillage, de gestes sociaux, ou encore de pointage avec le doigt avant 12 mois, absence de mots à 18 mois ou d'association de mots à partir de 24 mois. Si la suspicion s'avère confirmée, c'est au médecin d'orienter l'enfant pour réaliser une consultation spécialisée [57]. Le diagnostic de l'autisme est uniquement clinique, ce qui signifie que l'équipe pluridisciplinaire se base sur une observation des comportements de l'enfant. Il n'existe, pour l'instant, aucun examen radiologique ou biologique qui permette d'affirmer le diagnostic [51]. En attendant les résultats, des examens sont réalisés, comme par exemple des examens ORL, orthophonistes, et du développement moteur, pour connaître les besoins de l'enfant. Les premières interventions de rééducation sont également programmées [57].

Les recommandations de l'HAS sont d'optimiser le repérage des personnes à risques ou présentant des signes de TSA, mais également d'harmoniser les procédures pour le diagnostic chez les enfants de moins de 18 ans [58]. Le but est de détecter le trouble rapidement, pour mettre en place une prise en charge adaptée et précoce.

La prise en charge de l'autisme ne soigne pas le syndrome, cependant elle permet d'améliorer ses capacités fonctionnelles pour pouvoir interagir avec les personnes qui l'entourent et éviter le sur-handicap. Elle doit être pluridisciplinaire et individualisée, et doit suivre l'évolution de l'enfant, car ce trouble persiste toute la vie. Le but est de pouvoir insérer ces enfants dans la société, comme n'importe quelle personne, en allant à l'école et en ayant un travail, si le trouble le permet [52].

Pour les personnes ayant une atteinte plus importante, des centres d'accueil spécialisé ont été créés en France à partir de 1996. Cette prise en charge se fonde sur une approche développementale et comportementale basée sur des soins psycho-éducatifs, qui aident l'enfant à développer toutes ces compétences, que ce soit cognitives, motrices, sensorielles, comportementales, émotionnelles ou du langage [52].

La prise en charge kinésithérapique se base sur les déficiences dans les capacités motrices et sensorielles. Elle se divise généralement en plusieurs étapes.

La première est une prise en charge passive pour stimuler les muscles et les articulations.

La seconde étape est plus active, avec des exercices et de la gymnastique que la personne exécute en séance et à domicile. Il faudra ensuite réussir à fluidifier les mouvements pour qu'ils deviennent naturels.

C'est une prise en charge qui est longue car l'enfant doit tout apprendre. La kinésithérapie et la rééducation dans son ensemble ne sont pas les seuls traitements qu'aura l'enfant. En effet, une prise en charge médicamenteuse est parfois requise, mais la kinésithérapie reste indispensable pour améliorer la motricité et l'état de l'enfant [59].

L'évolution de l'autisme dépend de la forme, du moment d'apparition et de l'intensité des symptômes, ainsi que des traitements mis en place pour accompagner l'enfant. L'évolution est meilleure si l'enfant est stimulé avec des soins précoces [60].

La communication et le langage s'améliorent au long de la vie, notamment lors du passage de l'adolescence à l'âge adulte. Cependant, le langage fonctionnel doit être acquis avant 5 ans. En effet, les probabilités d'évolution deviennent de plus en plus faibles lorsque l'enfant grandit. Le taux de personnes qui ne développent pas le langage s'ils sont atteints d'autisme est de 10% [60].

Il est fréquent que le trouble de l’interaction sociale persiste au cours de la vie. Environ 50% des enfants autistes développent une persistance sévère de ce symptôme à l'âge adulte [60].

On observe une réduction des comportements stéréotypés chez environ 50% des personnes atteintes d'autisme, au fur et à mesure des années [60].

Cependant, pour 20 à 35% des personnes atteintes d'autisme, une aggravation des troubles à l'adolescence apparaît, et c'est environ 1 personne sur 5 qui garde un trouble sévère du comportement lorsqu'elle devient adulte [60].

II. 3. 4. Le développement typique

Les enfants avec un développement typique sont des enfants qui sont nés à terme en bonne santé.

Le Métayer, dans son livre sur la rééducation des enfants, définit les grandes étapes du développement moteur en fonction des déplacements, de la motricité globale, de la préhension, du langage, du graphisme ou de la compréhension des situations. Pour le membre supérieur, l'enfant à 1 an peut mettre un objet dans un récipient. Il réalise une tour de 2 cubes à 15 mois et peut mettre une pastille dans une bouteille. Il empile 3 à 4 cubes à 18 mois, 5 à 6 cubes à 21 mois et 6 à 7 cubes à 2 ans. Il peut également enfiler des grosses perles à 2 ans et réaliser un tour de 9 cubes à l'âge de 3 ans [61].

Ces notions vont être la base de la comparaison entre les enfants et les enfants avec un développement typique.

III. Problématisation

L'étude de l'analyse du mouvement montrent une disparité dans les recherches. En effet, le membre supérieur n'est que très peu étudié, et cet écart est d'autant plus marqué chez les enfants de 1 à 5 ans, comparé aux autres tranches d'âge.

Or, l'atteinte motrice touche aussi le membre supérieur dans ces pathologies, et connaître rapidement les besoins de l'enfant en termes de rééducation, augmentent ses possibilités de récupération et d'adaptation. L'analyse du mouvement est donc une aide à la pratique kinésithérapique, en permettant de trouver les paramètres affectés dans le mouvement pour cibler la prise en charge.

Plusieurs articles sur l'analyse du mouvement du MS existent, mais aucun n'a apporté de consensus sur le protocole d'analyse 3D à utiliser chez l'enfant de 1 à 5 ans pour étudier le MS

Ce raisonnement amène donc à cette question de recherches qui est : Quels sont les protocoles d'analyse du mouvement 3D optoélectronique utilisés pour étudier le mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans ?

Les objectifs évoqués par cette problématique sont :

- De décrire les populations étudiées en fonction des systèmes d'analyse 3D optoélectroniques, en fonction de la tâche effectuées et en fonction des paramètres spécifiques utilisés pour étudier le mouvement du MS chez les enfants de 1 à 5 ans.
- De comparer l'analyse 3D d'un enfant ayant une pathologie et celle d'un enfant avec un développement typique, dans l'optique de pouvoir les différencier.
- D'étudier la validité et la reproductibilité des articles de cette problématique.

L'hypothèse de recherche émise pour répondre à cette problématique est :

- Il est possible d'établir un protocole « type » d'analyse 3D du mouvement pour l'étude objective du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans.

IV. Méthodologie

IV. 1. Revue systématique de littérature

IV. 1. 1. Définition

Le but d'une revue systématique est de collecter, d'évaluer et de synthétiser des connaissances sur un sujet précis. Elle se base sur une question de recherche, qui permet de sélectionner et d'identifier les études répondant à cette problématique. Limiter les biais qui peuvent apparaître tout au long du travail est nécessaire afin d'obtenir la plus grande objectivité possible. C'est pour cette raison que la revue systématique a une méthodologie bien précise [62].

Les publications étant de plus en plus nombreuses, une évaluation critique des différentes affirmations, parfois très nombreuses et contradictoires, est indispensable. De plus, synthétiser ces nombreuses informations permet d'avoir une vue d'ensemble et une transparence face au sujet de recherche. L'objectif final d'une revue est donc de faire gagner du temps aux praticiens ou aux chercheurs, en facilitant la recherche d'informations, la prise de décision et la création de nouvelles normes [62].

IV. 1. 2. Méthode PRISMA

La méthodologie d'une revue systématique de littérature est extrêmement rigoureuse. Pour favoriser la reproductibilité et la fiabilité des revues scientifiques, un guide pour la rédaction a été créé afin d'aider les auteurs. Ce guide, élaboré en 2009, se nomme PRISMA statement(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)[63]. Il permet de limiter la variabilité de la rédaction, et de la qualité de réalisation des revues systématiques. Il est constitué d'une liste de 27 items sur le contenu des revues systématiques et des méta-analyses. Cette liste vérifie les informations, du titre à la discussion, en passant par le financement, le corps de texte et les résultats. La méthode PRISMA permet aussi la réalisation d'un diagramme de flux pour l'exclusion des articles.

En 2015, une nouvelle version est apparue. Elle se nomme PRISMA-P(Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis Protocols) et permet de faciliter la communication et le développement de protocoles d'examen systématique [63].

IV. 2. Sélection des études

IV. 2. 1. Base de données

Pour cette revue, la base de données PubMed est la seule qui a été utilisée. En effet, c'est actuellement la base de données de littérature scientifique la plus complète.

IV. 2. 2. Mots-clés et Équation de recherche

La plupart des articles de littératures scientifiques sont, aujourd'hui, écrits en anglais. Il est donc nécessaire de prendre les termes anglais pour trouver les mots-clés. La méthode PICO(Population Intervention Comparaison Outcome) permet de trouver ces mots-clés et d'obtenir les différentes listes de mots formant l'équation de recherche.

En effet, en se basant sur la question de recherche et la méthode PICO, 4 catégories de mots-clés viennent définir le sujet.

La première définit la population d'étude. Elle englobe, par exemple, les termes « *Infant* » ou « *Child, preschool* ». Les pathologies ne sont pas incluses à cette liste car les enfants avec un développement typique sont également intégrés à la recherche. La population se définit alors, uniquement par des termes décrivant un enfant de 1 à 5 ans.

La deuxième catégorie définit la méthode et donc l'analyse 3D. Elle regroupe les termes comme « *Kinematic* », « *Spatio-temporal* » ou encore « *Motion analysis* ».

La troisième liste est composée des termes sur le membre supérieur, comme par exemple « *Upper extremity* » ou « *Upper limbs* ».

La quatrième catégorie décrit la tâche notamment par les termes de « *Grasp* », ou « *Reach* », etc [cf. Annexe I].

Pour optimiser les résultats de cette recherche dans PubMed, l'utilisation des équivalents MeSH(Medical Subject Heading) de ces mots clés est nécessaire. Un terme MeSH comporte une liste normalisée de mots établis de manière à être hiérarchisée à l'intérieur de grandes catégories [64]. Le but est d'inclure le plus possible de termes MeSH, grâce aux référentiels de l'Inserm et de l'HeTOP(Health Terminology / Ontology Portal) car un terme MeSH englobe l'ensemble des sous-divisions du mot.

Après avoir collecté les mots clés, il faut ensuite les assembler pour obtenir l'équation de recherche. Les opérateurs booléens (AND, OR, NOT) vont permettre d'associer les différents termes les uns avec les autres. Il faut d'abord créer une sous-équation en utilisant le terme « OR » entre chaque mot clé des catégories. Cet opérateur permet d'effectuer la recherche à partir de tous les termes de l'équation mais sans que tous ne soient nécessairement présents dans les articles. Une sous-équation est formée pour chaque liste de mots-clés. Ces 4 sous-équations vont ensuite être assemblées en les reliant par le terme « AND ». Cet opérateur permet d'obtenir des résultats avec au moins un mot de chaque catégorie, ce qui permet d'obtenir l'équation de recherche finale [cf. Annexe II].

IV. 2. 3. Critère d'inclusion

Une équation de recherche donne une multitude de références qu'il sera impossible à traiter, et qui parfois ne correspondra pas à l'objectif de l'étude. Il est donc nécessaire d'établir des critères d'inclusion, pour trier ces articles et ne sélectionner que ceux qui correspondent à la recherche.

Les critères d'inclusion et de non inclusion suivant ont été choisis.

Critères d'inclusion :

- Enfants âgés de 1 à 5 ans inclus
- Analyse du mouvement avec un système 3D optoélectronique
- Étude du ou des membres supérieurs

Critère de non inclusion :

- Enfants âgés de moins de 1 an ou de plus de 5 ans
- Autre système d'analyse du mouvement que le système optoélectronique
- Ne concerne pas le ou les membres supérieurs
- N'est pas rédigé en Français ou en Anglais
- Ne se trouve pas en texte intégral, ne contient pas d'abstract ou de DOI

IV. 2. 4. Diagramme de flux

L'étape suivante est la réalisation d'un tableau de comparaison des articles par l'outil Excel. Ce tableau reprend l'ensemble des articles de l'équation de recherche, classés par nom d'auteur et facilite la réalisation du diagramme de flux permet d'être précis dans le référencement des articles supprimés. Ce tableau permet de trier les articles en fonction du paramètre de non-inclusion utilisé pour le retirer de la recherche.

Les 1254 résultats de l'équation de recherche sont d'abord triés grâce aux titres et aux abstracts de l'article. Chaque article supprimé vient compléter le tableau Excel. À la suite de cette étape, un certain nombre de références d'articles sont inclus. Ces articles vont donc être étudiés en intégralité pour s'assurer de leur concordance avec la recherche.

La disponibilité des références restantes en texte intégral est d'abord vérifiée, et la lecture complète des articles permet de supprimer de nouveaux articles, qui sont rajoutés au tableau de comparaison. Cette étape assure une correspondance avec les paramètres de l'étude.

IV. 2. 5. Sélection des articles pertinents

Tous les articles qui ne peuvent pas être exclus par les critères de non inclusion et qui correspondent aux critères d'inclusion, sont alors sélectionnés [cf. Annexe III] [23, 24, 65-87]. Cette sélection doit se faire de manière reproductible, et chaque étape est réalisée par deux investigateurs, suivie d'une mise en commun pour limiter les erreurs.

IV. 3. Risque des biais et erreurs

Deux examinateurs réalisent cette revue systématique de littérature, et chaque étape est effectuée séparément. Une concertation est ensuite planifiée pour discuter des éventuelles contradictions qui apparaissent lors de la comparaison des résultats. Travailler à deux examinateurs permet de diminuer le risque d'erreurs et de biais. Néanmoins, il aurait été possible de réaliser ces étapes à trois examinateurs pour réduire davantage ces risques, et faciliter les prises de décisions lors des désaccords.

Les articles sélectionnés peuvent également être sources d'erreurs ou de biais dans l'analyse s'ils ne sont pas formés correctement, ou si certaines informations sont manquantes. La décision de remplir une échelle de qualité méthodologique adaptée à ces articles est alors choisie.

IV. 4. Échelle de qualité

Pour pouvoir étudier les articles et connaître le poids de chaque article les uns par rapport aux autres, une échelle de qualité a été utilisée. Un certain nombre d'échelles de qualité sont présentes dans la littérature d'aujourd'hui.

Les échelles CASP (Critical Appraisal Skills Program), JBI (Joanna Briggs Institute) et SIGN (Scottish Intercollegiate Guidelines Network) permettent d'évaluer les études de cohorte, de cas-contrôle et de diagnostic [88].

L'échelle NIH (National Institutes of Health) se base sur l'étude de cohorte, les études de cas-contrôle et d'intervention [88].

L'échelle NOS (Newcastle-Ottawa Scale) correspond à l'évaluation des études de cohorte et des études de cas-contrôle. Cette dernière échelle est la plus fréquemment utilisée pour les études [88].

Le problème de cette revue systématique est qu'elle inclut des articles de cohorte, d'étude de cas-contrôle, d'étude de diagnostic, et d'étude interventionnelle. Cependant, il n'existe pas d'échelle qui rassemble l'ensemble des différents types d'études et des différentes caractéristiques évaluées pour chaque article. La création d'une échelle de qualité propre à cette étude a donc été réalisée.

Cette échelle se divise en 2 parties avec une première partie sur les risques de biais de l'étude et la qualité d'écriture, et une autre sur la qualité de l'étude biomécanique.

- La première partie englobe les informations sur la présence d'objectifs et d'hypothèses de recherche, sur la description de la population, des paramètres étudiés, mais également sur les résultats significatifs, et sur la qualité de la discussion.
- La deuxième partie permet de savoir si le protocole est facilement reproductible avec les informations données. Elle questionne donc le système d'analyse, la réalisation de la tâche et l'utilisation du matériel.

L'échelle réalisée a ensuite été validée par différents professionnels (rééducateurs, médecins, ingénieurs) [cf. Annexe IV].

IV. 5. Extraction des données

Un tableau d'extraction des données et des résultats est ensuite réalisé. Ce tableau a été validé par les 2 investigateurs et une double relecture a été effectuée sur les résultats. Il doit reprendre les principaux éléments, pour comprendre et interpréter les informations des articles. La réalisation de ce tableau se base sur les axes importants des articles qui ressortent après leur lecture.

IV. 6. Analyse des articles

Le tableau d'extraction des résultats est complété par les informations contenues dans les articles.

Pour une plus grande lisibilité dans l'étude des résultats, le tableau d'extraction a été scindé en plusieurs parties. Le but de ces tableaux est d'avoir une vision d'ensemble des différentes informations présentes dans les articles, de les comparer et de les analyser. 11 tableaux de résultats ont ainsi été ajoutés aux annexes.

Ces tableaux de résultats ont été créés en se basant sur le déroulé de la rédaction des revues. Les protocoles de ces études sont décrits de la même façon.

Les premières informations apparaissant dans l'introduction sont l'objectif de l'étude et les hypothèses apportées à ce but. Elles sont regroupés dans le premier tableau d'extraction du type d'étude et d'échelle de qualité. [cf. Annexe V].

Après l'introduction, les articles décrivent la population analysée. Les informations sélectionnées incluent l'âge de ces enfants, les caractéristiques de la population (atteints de pathologies ou avec un développement typique), le nombre de l'échantillon et toutes les informations sur leur insertion dans cette recherche. Toutes ces informations sont regroupées dans le deuxième tableau des résultats [cf. Annexe VI].

Après la description de la population des articles, le système d'analyse et l'action sont développés. Les caractéristiques du système optoélectronique sont expliquées, incluant le nombre de caméras, de marqueurs, leurs positions et toutes informations permettant de pouvoir reproduire ce protocole. Cette partie correspond au troisième tableau d'extraction [cf. Annexe VII].

La procédure de réalisation de la tâche est ensuite expliquée. Elle englobe la position de l'enfant et de sa main, la description du matériel et de sa position, et l'explication des caractéristiques de l'étude (comme par exemple, l'influence de l'environnement sur la préhension). Une description de la tâche, du nombre de réalisations, de répétitions de cette préhension, et la vitesse de réalisation y sont apportés. Ces informations sont regroupées dans le quatrième tableau [cf. Annexe VIII]

Une dernière partie sur l'analyse des données est écrite dans la méthode. Elle permet de connaître les paramètres d'étude, les informations plus précises sur les outils statistiques utilisés et sur les renseignements de délimitation de la tâche (par exemple, sur le début et la fin de la préhension, sur l'analyse et les paramètres d'exclusion de ces analyses). Ces informations sont regroupées dans le cinquième tableau [cf. Annexe IX].

Après la méthode, les articles évoquent les résultats obtenus grâce à l'étude des différents paramètres et leurs discussions ce qui leur permet de répondre à la problématique et aux objectifs de l'article.

Il sera également nécessaire d'étudier le diagramme de flux et la sélection des articles. Ce résultat donne des informations sur les pathologies étudiées grâce à un système d'analyse du mouvement et sur les différences entre enfants pathologiques et enfants avec un développement typique.

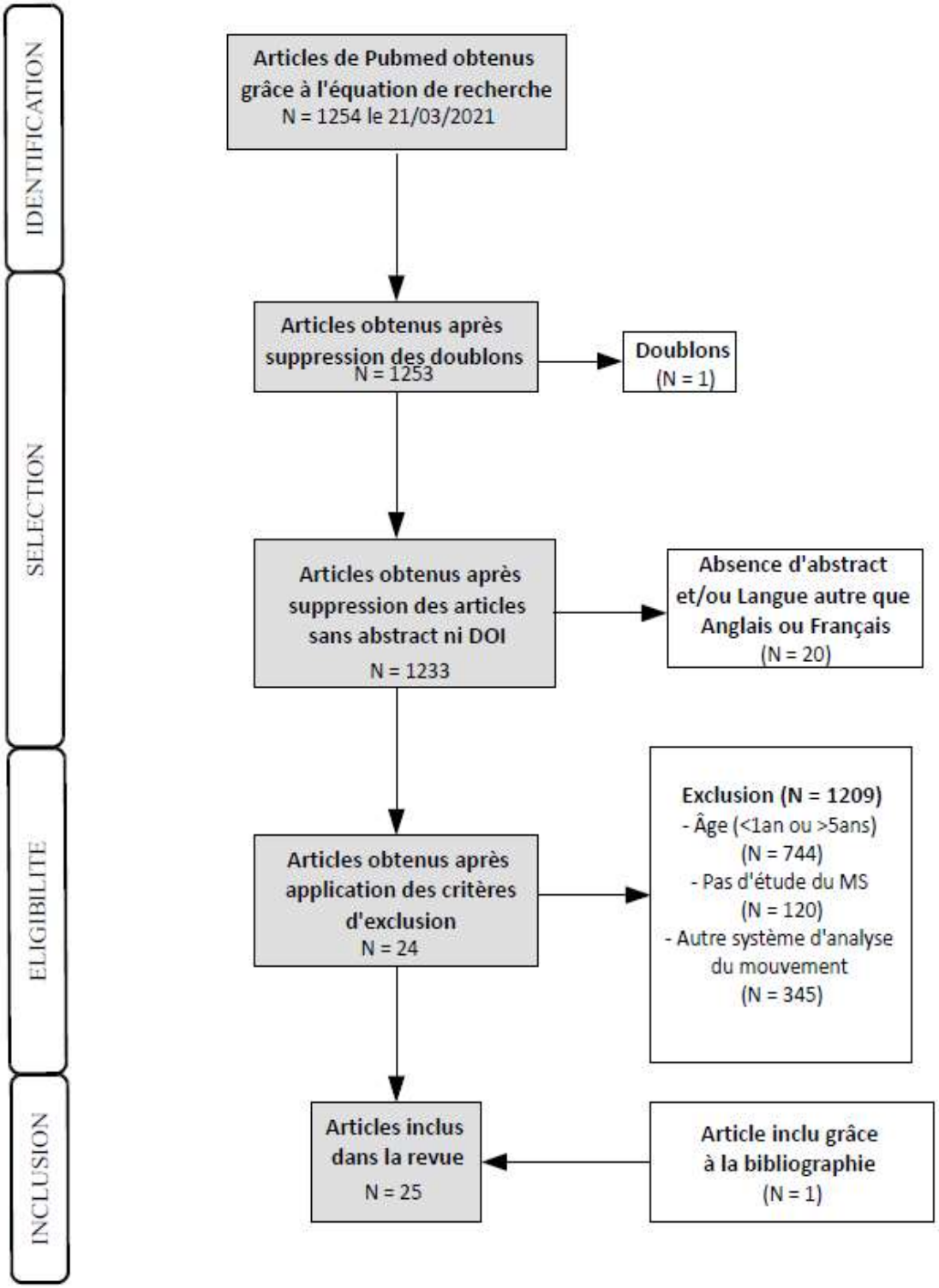
V. Résultats

V. 1. Sélection des études

1254 articles de PubMed ont été identifiés grâce aux critères de recherche, le 21 mars 2021. Parmi ces 1254 articles, ceux en doublons, sans abstract, sans texte intégral, ou écrits dans une langue autre que le français et l'anglais ont été exclus (n = 21). Dans les articles restants, la plupart ont été supprimés en raison d'un âge incorrect (n = 744), d'un système d'analyse ne correspondant pas à celui choisi par l'étude (n = 345) ou une analyse ne correspondant pas au membre supérieur (n = 120). Un article a été retrouvé dans plusieurs bibliographies d'articles inclus dans cette recherche. Il est donc ajouté à la liste d'articles.

Cette recherche compte, au final, 25 articles publiés entre 1988 et 2018 et intégrant des enfants atteints de paralysie cérébrale, de troubles du spectre autistique, les enfants nés avant le terme et les enfants ayant un développement typique [cf. Annexe III]. Ils répondent tous à la problématique d'étude des différents protocoles d'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez l'enfant de 1 à 5 ans.

Figure 1: Diagramme de flux



V. 2. Description des études

V. 2. 1. Qualité et type des études [cf. Annexe V]

Les échelles de qualité d'étude étaient majoritairement élevées avec 17 articles ayant un score total supérieur ou égal à 20/25. Les 8 autres articles ont un score compris entre 14/25 et 20/25.

4 types d'études sont étudiés dans ces 25 articles. 11 articles étaient des études longitudinales sur le développement de la préhension chez les enfants. Le même nombre d'articles étaient des études observationnelles sur l'influence du contexte environnemental sur la préhension. 2 articles étaient des études interventionnelles sur un outil diagnostic chez les enfants atteints d'autisme. Le dernier article était une étude post-thérapeutique sur l'effet d'un traitement chez les enfants atteints de PC.

V. 2. 2. Populations des études [cf. Annexe VI]

Dans les articles inclus, 4 populations de patients sont présentées : les enfants à Développement Typique (TD) apparaissant dans 17 articles; les enfants nés avant le terme (PT) décrit dans 2 articles, les enfants atteints de Paralysie Cérébrale (PC) étudiés dans 3 articles et les enfants atteints de Trouble du Spectre Autistique (TSA) analysés dans 3 articles.

Les différentes tranches d'âge compris entre 1 et 5 ans sont analysées dans les articles.

Le nombre d'enfants inclus dans les protocoles des différents articles était en moyenne de 15 mais s'étendait de 4 à 39 en fonction des groupes dans les différentes études.

V. 2. 3. Systèmes d'analyse 3D [cf. Annexe VII]

7 systèmes optoélectroniques différents, majoritairement passifs, ont été retrouvés dans les articles. L'ensemble des systèmes était présent chez les TD. Chez les TSA, le modèle Smart Milan était le seul utilisé, tandis que le système Qualisys permettait l'analyse chez les PT. Chez les PC, 2 systèmes ont été utilisés, le système Vicon et Elite. Les systèmes optoélectroniques utilisés chez les enfants atteints d'une pathologie étaient tous des systèmes passifs.

Le nombre de caméras variait entre 2 et 8 et était, dans l'ensemble, plus important chez les enfants atteints de pathologies que chez les TD. Le nombre de marqueurs positionnés sur le corps variait entre 1 et 8, avec une moyenne de 4 marqueurs par étude. Tous les articles avaient, au moins, un marqueur sur la main ou sur le poignet et le nombre évoluait ensuite sur les articulations du ou des bras du sujet. 8 articles présentaient des marqueurs sur le matériel, pour mieux apprécier le rapprochement de la main vers l'objet.

V. 2. 4. Protocoles et tâches effectuées [cf. Annexe VIII]

Les tâches les plus fréquemment effectuées étaient des tâches de reach-to-grasp ou de reach-to-touch. Les enfants de plus de 3 ans réalisaient ensuite des tâches de précisions telles que la réalisation d'un dessin [73], la construction d'une tour [78] ou l'ouverture d'un tiroir pour appuyer sur un bouton [85].

Des objets variables étaient utilisés. Les plus fréquents étaient en forme d'animaux [79], [80] ou encore de formes sphériques comme des balles [67], [74], [75], [77], [82], [83] ou des céréales (de type Cheerios) [23], [75], [82].

La position des objets sur la table et leur distance avec l'enfant étaient, soit identiques pour tous (dans 15 articles) [23], [24], [65], [70], [72], [74], [77], [78], [79], [82], [83], [84], [85], [86], [87], soit proportionnelles à la taille du sujet et de son membre supérieur (pour 10 articles) [66], [68], [69], [71], [73], [75], [76], [80], [81].

La position de départ de l'enfant était toujours la même, assis sur les genoux des parents ou sur une chaise. En ce qui concerne la position de départ de la main, 12 articles la fixaient [24], [65], [68], [71], [73], [74], [76], [79], [81], [83], [84], [86] et 4 articles ne la fixaient pas [66], [67], [69], [78]. Le reste des articles ne spécifiait pas cette information.

La vitesse de préhension était généralement libre [23], [24], [68], [69], [71], [72], [76], [81], [84], [85] et 3 articles testaient la rapidité [74], [77], [87]. Dans 13 articles, il y avait un entraînement au préalable [68], [70], [71], [72], [74], [75], [79], [80], [81], [83], [84], [85].

Pour plus de la moitié des articles, le nombre d'essais était fixé entre 4 et 10 par condition. Pour les autres articles, le nombre d'essais était plus conséquent avec un minimum de 15 essais par condition, répétés plusieurs fois. 7 articles laissaient la possibilité, si l'enfant était motivé, de continuer les essais pour récolter un maximum de données [23], [73], [74], [75], [78], [79], [82].

V. 2. 5. Paramètres étudiés [cf. Annexe IX]

67 paramètres différents sont étudiés dans les articles.

3 grandes catégories se définissaient : les paramètres spatio-temporels, les paramètres cinématiques et les autres paramètres. Les paramètres étaient majoritairement des paramètres spatio-temporels car tous les articles en étudiaient au moins un. 11 articles comportaient des paramètres cinématiques et 13 articles décrivaient d'autres paramètres.

3 types de paramètres spatio-temporels étaient étudiés :

- les paramètres temporels qui englobaient les paramètres de temps et de vitesse, au nombre de 34. Un seul article n'incluait pas de paramètres temporels.
- Les paramètres spatiaux comportant la trajectoire et la rectitude du mouvement. 19 articles incluaient des paramètres spatiaux. Au total, 11 paramètres différents de trajectoire et de rectitude étaient étudiés.
- Les paramètres sur la continuité du mouvement intégrant les paramètres de coordination, de fluidité et d'unité de mouvement. 17 articles incluaient des paramètres de continuité et 10 paramètres différents développaient cette notion.

6 paramètres cinématiques ont été mesurés, pour décrire les angles dans la préhension. Les angles d'ouverture de la main, du poignet et du coude étaient décrits, tout comme leurs déplacements lors du mouvement et leurs variations.

D'autres paramètres ont été étudiés qui n'étaient ni spatio-temporels, ni cinématiques. Ils étaient au nombre de 10 (par exemple, l'anticipation et la fixation de l'objet avant le mouvement, l'ordre de réalisation des tâches, le type de prises effectuées, ou l'effet du genre, de l'âge ou de la préférence de la main sur la préhension).

V. 2. 6. Comparaison entre les TD et les pathologies

Les protocoles entre un enfant ayant un TD et un enfant pathologique étaient similaires. Les différences se retrouvaient sur les résultats des paramètres de la préhension. Aucune de ces études n'a comparé directement les enfants TD et les enfants atteints d'une pathologie.

Chez les TD, le mouvement chez les enfants les plus jeunes était plus asymétrique, segmenté et plus lent [76], [81]. Il devenait, avec les années, plus fluide, rapide et rectiligne tout en développant son anticipation et son intégration spatiale [23], [76], [81], [86].

Chez l'enfant né avant terme, ce mouvement était moins organisé et latéralisé mais redevenait identique à celui de l'enfant avec un développement typique vers 8 ans [87].

Chez l'enfant atteint de PC, l'ensemble du mouvement était affecté et il était donc moins rapide et fluide comparé au TD sur la même tâche [72], [74], [85].

Chez l'enfant avant un trouble du spectre autistique, la deuxième partie du mouvement était la plus affectée avec des difficultés à modifier la préhension en fonction des caractéristiques extérieures si ce mouvement était comparé à celui d'un enfant sain [77], [83], [84].

V. 2. 7. Validité et reproductibilité de l'étude

Seulement 2 articles étudiaient la validité [69], [72].

L'article de Kuhtz-Bunchbeck de 1999 [69] avait étudié la relation entre le score MOT (Motor function Score) [89] et les paramètres cinématiques (par exemple, le temps de mouvement ou la longueur de trajectoire). L'article de Van der Heide [72] avait effectué le PEDI score (Pediatric Evaluation of disability Inventory) et les paramètres cinématiques (par exemple, le pic de vitesse de pointe ou la rectitude) [90].

Il n'y a pas eu d'étude de reproductibilité des protocoles utilisés.

VI – Discussion

VI. 1. Résultats principaux de la revue systématique de littérature

Dans cette revue de littérature qui avait pour but d'étudier les différents protocoles d'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans, les résultats montrent une diversité des protocoles, des paramètres ainsi que les systèmes d'analyse mis en place. 4 populations apparaissaient dans ces articles (Paralysie cérébrale, Trouble du spectre de l'autisme, né avant terme, et Développement typique). Les principales tâches effectuées étaient des tâches de Reach-to-Grasp et de Reach-to-touch. Les systèmes d'analyse étaient principalement des systèmes optoélectroniques passifs. Les paramètres étudiés étaient principalement des paramètres spatio-temporels, même si des paramètres cinématiques et des autres paramètres intervenaient. Des différences entre les enfants TD et les autres enfants ont été démontrées dans les caractéristiques de préhension notamment. Des scores cliniques étaient utilisés et deux articles étudiaient la validité grâce à ces scores.

VI. 2. Résultats principaux des études incluses

VI. 2. 1. Étude de la qualité et du type d'étude

Les articles étaient majoritairement de bonne qualité. De plus, le score maximal non atteint était généralement dû à la qualité de l'écriture des articles plutôt que liés à la qualité de la méthode utilisée. C'est un atout pour cette recherche car les données partielles ou manquantes étaient donc moins nombreuses en ce qui concerne les caractéristiques des protocoles (données principalement retrouvées dans l'échelle biomécanique). Chaque information extraite a donc un intérêt dans l'étude et permet d'apporter un élément de réponse à cette problématique. De plus, grâce à ces études bien menées, les résultats extraits ont plus de chances de montrer une justesse dans leur propos.

Le nombre d'articles obtenus n’est pas un élément à négliger car la réalisation d'un protocole d'analyse du mouvement du MS chez des enfants de cet âge peut être compliquée à étudier. En effet, il est nécessaire d'avoir un laboratoire d'analyse du mouvement, de trouver des professionnels ayant les connaissances pour les réaliser, mais également de trouver les patients acceptant de participer à l'étude. Les enfants vont avoir plus de difficultés à rester immobiles et motivés en comparaison à des enfants plus âgés ce qui va également compliquer leur analyse. De plus, la diversité dans les mouvements du MS peut également perturber les enregistrements. En effet, outre le fait de devoir le choisir en fonction de l'âge de l'enfant, il existe également une grande possibilité de mouvement du MS à réaliser et pouvant être étudié, ce qui complexifie le choix du bon geste.

Malgré toutes ces conditions, 25 articles ont été obtenus. L'étude de l'analyse du mouvement du MS est donc un sujet qui intéresse et qui est régulièrement développée depuis les années 1989.

Plusieurs types d'études ont été retrouvés. Effectivement, quasiment la totalité des articles était des études longitudinales ou des études observationnelles. Ce résultat concorde avec notre répartition d'articles entre les TD et les enfants atteints de pathologies. En effet, ces deux types d'études peuvent être à la fois étudiés chez les enfants avec un développement typique et avec une pathologie, contrairement à une étude de diagnostic ou de traitement qui sera étudiée uniquement chez les enfants atteints de pathologique.

Le type d'étude n'a pas influencé l'étude du mouvement dans les différents protocoles utilisés. Ce résultat montre que l'analyse du mouvement est utilisable pour tout type de situation. Un même protocole peut servir à étudier le suivi de l'évolution de l'enfant, ainsi qu'évaluer une thérapie ou être utilisés comme critère de recherche et de diagnostic.

VI. 2. 2. Étude de la population

En ce qui concerne l'âge, la problématique est totalement exploitée. Il est donc possible d'étudier le mouvement du MS des enfants dans cette tranche d'âge entre 1 et 5 ans.

Un écart apparaissait entre le nombre d'articles sur les enfants TD (n = 17 et ceux avec une pathologie (n = 8). Seulement 4 types de population dans ces articles étaient observés. De plus, les résultats montraient également une étude complète des différentes tranches d'âges et une taille d'échantillon variable d'un article à un autre.

Cette diversité dans les populations et dans le nombre d'articles peut s'expliquer de différentes manières. Tout d'abord, pour pouvoir analyser le mouvement du MS chez les enfants atteints de pathologies, il est utile de connaître le mouvement des enfants TD pour avoir une base de référence. En effet, connaître ce mouvement pourrait permettre de mettre plus facilement en lumière les modifications qu'entraîne la pathologie sur des mouvements comme la préhension. Par exemple, le mouvement de reaching chez les PC est plus difficile à réaliser que pour les enfants avec un développement typique [35]. En effet, les enfants atteints de PC ont généralement un contrôle moteur moins important qu'un enfant TD ce qui perturbe le mouvement [91]. Or une reproductibilité dans l'étude de l'analyse 3D du mouvement semble nécessaire pour pouvoir les étudier. Il sera donc probablement plus facile et plus faisable d'analyser le mouvement chez les enfants avec un développement typique que chez les enfants atteints de PC.

En ce qui concerne le trouble du spectre autistique, l'atteinte motrice n'est pas l'atteinte caractéristique de la maladie. En effet, la définition du TSA le définit comme un trouble du neuro-développement et non comme une maladie neuro-motrice [46]. Les 3 caractéristiques majeures du TSA sont les troubles des interactions sociales, des comportements et de la communication. L'atteinte du membre supérieur n'est pas au premier plan, ce qui peut expliquer que cette pathologie est moins étudiée en terme d'analyse du mouvement du MS.

De plus, les trois articles de l'autisme ont été étudiés par la même équipe de recherche. De plus, les enfants nés avant terme peuvent, dans certains cas, développer une PC, ce qui les rapprochent de l'analyse du mouvement des PC et montrent donc un intérêt plus important pour leur analyse 3D.

La petite taille d'échantillons de la population pourrait s'expliquer par la difficulté de trouver des enfants capables de faire une analyse 3D. En effet, dans les exemples d'articles étudiés chez les enfants plus âgés, la taille d'échantillons est beaucoup plus importante avec un minimum de 60 enfants inclus par groupe d'étude [91], [92]. Il y a donc peut-être un lien entre ces petits échantillons et la faisabilité de l'analyse.

La pathologie ne semble donc pas influencer l'étude du mouvement dans les différents protocoles. Cette étude du mouvement pourrait potentiellement être appliquée à l'ensemble des maladies affectant le membre supérieur. De plus, cette analyse peut s'effectuer pour tous les âges de la population ce qui est un atout dans l'étude de l'évolution et dans l'impact des traitements sur l'enfant.

VI. 2. 3. Étude des systèmes optoélectroniques

Les résultats montraient une diversité dans les systèmes d'analyse et leurs propres caractéristiques en ce qui concernait les marqueurs et les caméras. De plus, ceux utilisés chez les enfants avec une pathologie étaient plus souvent identiques et une majorité de systèmes passifs était utilisée. Le nombre de caméras et de marqueurs augmentait au fil des années et était plus important dans les articles concernant les pathologies.

Tout d'abord, le système passif est plus simple d'utilisation. Il faut également prendre en compte que les trois articles trouvés chez les enfants atteints de TSA étaient réalisés par la même équipe de chercheurs. De plus, vu que les systèmes optoélectroniques s'utilisent de manière identique, son choix ne dépend sûrement pas de la pathologie mais plus généralement du système connu par l'équipe de chercheurs, ou de celui mis à disposition au moment de l'étude.

En ce qui concerne le nombre de caméras, un plus grand nombre de caméras permet une meilleure précision dans l'analyse. Cependant, il faut aussi prendre en compte qu'au fil des années, les financements pour les études restaient les mêmes mais le prix des caméras diminuait. Une caméra achetée peut être utilisée pendant plusieurs années, donc, pour une même équipe de recherche, le nombre de caméras ne pouvait qu'augmenter au fil des années. Il n'y a donc peut-être aucun lien avec une meilleure précision de l'analyse.

Cependant, un minimum de deux caméras est nécessaire pour capter le mouvement, ce qui est le cas pour la majorité des articles inclus à la recherche. Cependant, les recommandations en définissent au moins trois pour permettre une étude dans les trois plans de l'espace [10], [15]. En effet, même si deux caméras suffisent pour étudier le mouvement du membre supérieur en 3D, elles ne permettront pas d'enregistrer l'ensemble des marqueurs sur le mouvement du MS. Il est donc nécessaire d'avoir un minimum de trois caméras pour une plus grande précision dans l'analyse, ce qui est le cas dans les articles à partir de 2005 [72-87].

De la même manière, la précision de la mesure pourrait dépendre du nombre de marqueurs placés sur le corps de l'enfant. Cependant, comme pour toutes les caractéristiques des systèmes, cet écart dans le nombre pourrait uniquement s'expliquer par le système et le nombre de marqueurs mis à disposition au moment de l'analyse, ou tout simplement par l'habitude des chercheurs de l'étude.

Certains marqueurs ne vont également pas être acceptés par les jeunes enfants (notamment sur les doigts) ce qui modifie également le placement [93]. Ce phénomène est retrouvé chez les TD mais également chez les enfants atteints de pathologies.

De plus, le nombre de marqueurs peut également dépendre des paramètres étudiés. En effet, les articles analysant le mouvement de l'ensemble du bras utilisaient plus de marqueurs (respectivement 6 et 8) [23], [71] en comparaison d'un article qui étudiait l'impact de la main et de la prise [73] n'incluant qu'un seul marqueur sur chaque poignet. Le même phénomène se retrouve pour la mesure de la fluidité qui ne nécessite qu'un seul marqueur. Elle pouvait donc être étudiée à la fois par l'article de Rönnqvist [73] et de Schneiberg [71], contrairement à une mesure d'angle qui nécessitait plusieurs marqueurs. Le même phénomène se retrouve également pour la présence de marqueurs sur l'objet ou sur les deux bras en fonction de l'objectif de l'étude. En effet, une étude réalisée dans l'obscurité totale [80] nécessitait obligatoirement un marqueur sur l'objet, tout comme une étude sur la latéralité des enfants impliquait des marqueurs sur les deux bras [73].

Dans les exemples de protocoles étudiés chez les enfants de moins de 1 an [94], [95], et chez les enfants de plus de 5 ans [92] [96], [97], les mêmes systèmes étaient retrouvés. Cependant, les nombres de marqueurs et de caméras étaient globalement plus élevés avec un minimum de 6 caméras et 5 marqueurs.

Chez les enfants de plus de 5 ans, le placement des marqueurs suivait les recommandations de ISB [16], ce qui n'était pas forcément le cas dans tous les protocoles chez les enfants entre 1 et 5 ans. En effet, l'utilisation d'un bracelet pour positionner le marqueur sur le poignet comme dans l'article de Nelson [82] ne respectait pas ces recommandations.

Malgré cela, certains articles plaçaient leurs marqueurs avec une plus grande précision, et sur des segments anatomiques précis comme l'article de Schneiberg [71], ce qui facilite la comparaison et l'analyse.

VI. 2. 4. Étude des protocoles

Le système optoélectronique a permis l'étude de différentes tâches. Les actions effectuées étaient globalement des tâches de reach-to-grasp (en venant prendre un objet) ou des tâches de reach-to-touch (en venant toucher l'objet). Les tâches étaient toujours des tâches unimanuelles (par exemple [86]) ou bimanuelles asymétriques (par exemple [76], [81]). Aucune tâche bimanuelle symétrique n'est demandée. Les tâches de précisions, (par exemple réaliser une tour [78] ou jeter l'objet dans une boite [73], [74]), étaient données aux enfants plus grands à partir de 3 ans.

D'après les niveaux d'évolutions motrices [61], les tâches demandées correspondaient à l'âge du développement moteur des enfants. Le type de mouvement est donc souvent le même dans la préhension et la difficulté de la tâche était ensuite adaptée en fonction de l'âge et des acquisitions motrices.

Concernant la position de l'enfant, elle était toujours la même. L'enfant était assis sur les genoux de ses parents (pour les plus jeunes) ou assis sur une chaise (pour les plus âgés). La seule position qui était modifiée était celle de la main qui n'était pas toujours fixée. Un point de départ de la main fixe permet de pouvoir être plus reproductible dans la réalisation de la tâche.

Pour la distance et la position de l'objet, la majorité fixait une même distance pour les objets (n =15) sans l'adapter proportionnellement à l'enfant (n =10). Cependant, la taille des enfants varie énormément à cet âge [98]. Si ces différences de taille peuvent paraître faibles, elles pourraient avoir une influence sur la préhension. Par exemple, chez une fille dont la taille est proche de la norme basse de l'OMS [98], placer un objet à 30 cm d'elle [24] va demander un plus grand déplacement du bras et du tronc, ce qui peut modifier les résultats (en comparaison d'un garçon avec une taille proche de la norme haute de l'OMS [98]). Il serait donc logique d'adapter les mesures à l'anthropométrie de l'enfant pour éviter d'obtenir des variations dans les résultats.

Des entraînements n’étaient pas systématiquement proposés dans chaque article. En effet, il peut y avoir un impact en fonction de l'objectif de l'étude. Il permet, d'un côté, de donner confiance à l'enfant en limitant les erreurs de compréhension. Cependant, en donnant plus de solutions à la préhension, il limite l'analyse des différentes stratégies mises en place [67]. De plus, une tâche simple ne va pas forcément nécessiter d’entraînement si l'enfant est grand. Il semblerait donc logique d'adapter l'entraînement en fonction de l'objectif de l'étude et de l'âge des enfants, sans l'imposer à chaque protocole.

Le nombre d'essais, quant à lui, dépendait principalement de la motivation de l'enfant et du nombre de tâches demandées. Le but est d'avoir le plus de données à analyser pour être représentatif du mouvement tel qu’il est réellement fait spontanément.

Dans les exemples d'articles analysant les enfants de moins de 1 an [94], [95] et les enfants de plus de 5 ans [91], [92], [96], [97], , des tâches de reach-to-grasp ou de reach-to-touch ont également été retrouvées, cependant elles n'étaient pas les seules demandées (par exemple des tâches d'imitations [91]). Il y a donc une cohérence dans l'étude du mouvement du membre supérieur chez les enfants.

VI. 2. 5. Étude des paramètres

La majorité des paramètres était spatio-temporels, cependant des paramètres cinématiques et autres étaient mesurés également dans les études.

Les paramètres étudiés dépendaient de l'objectif de l'article. Cette diversité de paramètres montre qu'il est possible d'étudier objectivement l'ensemble des caractéristiques du mouvement grâce à un système optoélectronique. C'est donc un atout pour la définition d'un gold standard pour le membre supérieur. Cependant, ce grand nombre de paramètres complique la comparaison des résultats les uns avec les autres.

En effet, certains articles définissent différemment un même paramètre. Par exemple, 3 articles ne délimitaient pas le mouvement de la tâche de la même manière [70], [71], [80]. En effet, le paramètre du début du mouvement pouvait être défini à partir de l'enregistrement vidéo de chaque essai [70], ou comme étant le moment où la vitesse tangentielle a dépassé 5 % de la vitesse maximale de pointe [71], mais également par le premier moment dans lequel l'objet avait une vitesse de plus de 50 mm/s dans celui de Babinsky [80]. Ces différences pouvaient donc influencer les autres paramètres comme le temps de mouvement, si l'analyse n'était pas débutée au même moment dans toutes les préhensions. Une comparaison précise des résultats de l'ensemble des articles était donc compliquée.

Les différents articles étudiant les paramètres cinématiques étaient moins nombreux que les articles étudiant les paramètres spatio-temporels. De nombreux articles n'utilisaient qu'un marqueur ou deux sur la main ce qui ne permet pas le calcul d'un angle et qui peut donc expliquer la raison d'une étude moins fréquente des paramètres cinématiques.

VI. 2. 6. Comparaison entre les populations

Le résultat de la comparaison des protocoles montrait que tous les articles étudiaient le mouvement et cette tâche de préhension de la même manière. Cependant, chaque étude réalisait son propre protocole en faisant varier le nombre de caméras, ou encore la vitesse de réalisation de la tâche. Les résultats des analyses de mouvement du MS entre ces populations étaient différents et une distinction pouvait être faite entre une analyse d'un enfant atteint d'une pathologie et celle d'un TD.

En effet, lorsque l'on étudie les différentes caractéristiques du mouvement, les comparaisons sont claires entre un enfant de 1 an, de 5 ans ou ayant une pathologie.

En effet, la préhension n'est pas la même entre les enfants TD et les enfants atteints d'une pathologie comme la PC. Les étapes de la préhension ne sont pas toutes affectées identiquement. Les enfants PC ont une atteinte plus globale sur l'ensemble du mouvement tandis que les TSA ont une atteinte principalement de la deuxième partie du mouvement.

Le mouvement demandé chez les enfants atteints de pathologie nécessitaient de venir attraper l'objet puis de le lâcher dans un trou [77], [83] ou d'ouvrir un tiroir et d'appuyer sur un bouton [85]. Les tâches demandées étaient donc un peu plus complexes qu'une simple tâche de reach-to-grasp ce qui a probablement permis d'être plus précis dans les paramètres affectés.

VI. 2. 7. Étude de la validité et de la reproductibilité

Pour établir la validité des mesures en analyse 3D du mouvement, deux scores cliniques de motricité ont donc été utilisés : le Motor function Score [89], et le PEDI Score [90]. Seulement deux articles incluaient de la validité dans leur protocole [69], [72]. De plus, la reproductibilité n'a pas été étudiée. Il n'est ainsi pas possible de valider un protocole plutôt qu'un autre. Ce manque de validité dans les articles inclus pourrait expliquer la multitude de protocoles et le manque de gold standard actuellement dans l'analyse 3D du membre supérieur.

VI. 3. Limites et biais de l'étude

Cette revue systématique de la littérature n'a interrogé qu'une seule base de données. Même si Pubmed est une grande base de données, et référence une grande majorité d'articles scientifiques, toutes les publications scientifiques de littérature ne sont pas forcément intégrées à cette base. Certains articles ont pu échapper à cette sélection.

Cette sélection d'articles s'est basée uniquement sur les articles écrits en Français ou en Anglais. Les autres langues n'ont pas été étudiées. Il est donc possible que des publications dans une langue étrangère et répondant aux critères d'inclusion, soient présentes dans Pubmed mais n'aient pas été incluses à la recherche.

Un autre biais de cette inclusion d'articles apparaît par la présence ou non de sous-groupes. En effet, les sous-groupes étaient ajoutés à la recherche en ne sélectionnant que les informations des enfants entre 1 et 5 ans, même si l'article étudiait l'analyse du mouvement sur une tranche d'âge plus importante. Cependant, certains articles exclus de la recherche développaient, par exemple, l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez un enfant de 4 à 18 ans, et il n'y avait pas d'analyses en sous-groupe de la tranche d'âge qui nous intéressait. Ils n'ont donc pas été inclus. Il aurait alors été possible de l'inclure à la recherche en ne sélectionnant que les informations nécessaires, comme par exemple, l'article de Schneiberg [71].

Pour finir, les études étaient difficilement comparables les unes avec les autres. En effet, même si le mouvement de préhension était similaire entre les articles, les protocoles et leurs caractéristiques (les objets, les systèmes, le nombre de marqueurs, de caméras etc.) étaient différents. Cette diversité de protocoles a donc pu impacter les résultats de cette recherche dans son interprétation et son extrapolation.

VI. 4. Perspective

Cette recherche a donc mis en lumière certains atouts de l'analyse 3D dans l'étude du mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans.

Elle permet de développer les connaissances sur la préhension. De plus, l'étude longitudinale permet de connaître l'évolution de cette préhension au fil des âges. Elle permet également de définir les capacités et la partie du mouvement affecté en fonction de la pathologie et de l'enfant.

L'analyse 3D est une mesure objective et précise, qui permet de diminuer les variabilités inter et intra-examinateurs que l'on peut avoir en évaluant l'enfant à l'œil nu. Cette analyse permet donc d'aiguiller la prise en charge et les aspects à améliorer par le thérapeute. En effet, plus l'analyse sera précise dans son étude, plus il sera facile de comprendre les anomalies du mouvement pour améliorer la prise en charge l'enfant et de travailler sur ses capacités motrices déficientes.

Ce système fournit également une aide au diagnostic en montrant, par exemple, les différences de préhensions en fonction de la pathologie. Il permet également de voir l'impact d'un traitement ou d'une prise en charge sur les capacités de l'enfant. L'évolution de l'enfant au fil des années est alors plus facilement repérable et analysable. C'est donc une aide à la prise en charge qui permet d'améliorer la qualité des interventions des différents thérapeutes.

Pour aller plus loin dans cette recherche, un protocole type a été créé en synthétisant toutes les informations extraites. Un protocole de référence pourrait permettre de comparer plus facilement les résultats les uns avec les autres.

VI. 5. Protocole type

En prenant les caractéristiques des différents protocoles et les paramètres développés dans la discussion, un protocole type se dégage. Celui-ci est une proposition en se basant sur les articles sélectionnés.

- La tâche effectuée est une tâche de reach-to-grasp. La vitesse est libre. L'objet est choisi et placé proportionnellement à la taille et aux caractéristiques de l'enfant.
- La position de l'enfant et de la main est fixée dès le départ. L'enfant est positionné sur les genoux de ses parents ou placé sur une chaise en fonction de son âge. Un marquage sur la table indique la position de départ de la main.
- L'enfant a un entraînement de quelques essais avant de commencer l'analyse. Il continue de réaliser la tâche demandée tant qu'il reste motivé.
- Cette session est filmée par un système optoélectronique passif. La salle est entourée de 6 caméras infra-rouges, avec un minimum de 4 marqueurs de 5 mm, placés sur la main, le poignet, le coude et l'épaule du membre supérieur du sujet. Ce placement se fait en fonction des recommandations de ISB [16]. Un marqueur va également être placé sur l'objet pour mieux apprécier le rapprochement de la main vers l'objet. Il faut cependant éviter les marqueurs sur les doigts, généralement mal appréciés par l'enfant, sauf si le but de l'article est d'étudier l'ouverture des doigts ou les différents types de prises, par exemple.

VII – Conclusion

L'analyse 3D du membre supérieur via un système optoélectronique est un outil qui a été utilisé chez les enfants âgés de 1 à 5 ans, à travers différents protocoles explorant majoritairement la préhension.

Cette analyse permet de développer les connaissances sur la préhension typique d'un enfant et sur le développement de cette préhension au fil des âges. Elle permet également de définir les capacités et la partie du mouvement affecté en fonction de la pathologie et de l'enfant.

Cette revue de littérature montre une diversité dans la manière d'étudier le mouvement du membre supérieur avec un système optoélectronique. Il permet de ne pas se limiter dans les analyses, et donc de proposer un outil diagnostique, mais également d'étudier l'évolution d'un enfant ou l'effet d'un traitement. Si ces protocoles sont tous différents, une trame commune est observée et permet de créer un protocole type.

De plus, le système optoélectronique montre de nombreux atouts dans cette étude de l'analyse du mouvement du MS. C'est un avantage pour la recherche du gold standard du membre supérieur, ce qui permettrait également de s'aligner à la référence du membre inférieur en ce qui concerne cette analyse 3D. Mais il faudrait cependant, étudier l'ensemble des systèmes d'analyse 3D pour pouvoir définir ce gold standard.

Un objectif d'étude future pourrait être de reprendre les protocoles déjà existants, tout en évaluant leur validité et reproductibilité. Il serait également intéressant de les comparer aux autres systèmes d'analyse pour pouvoir déceler l'appareil le plus adéquat dans cette étude du membre supérieur chez les enfants pré-scolaires.

VIII - Bibliographie

1. Dossier de presse – Anne de Lander - La Fondation Paralysie Cérébrale VF - dec 2017 [Internet]. Disponible sur :https://www.fondationparalysiecerebrale.org/sites/default/files/inline-files/Dossier%20de%20presse%20La%20Fondation%20Paralysie%20Ce%CC%81re%CC%81brale%20VF%20-%20dec%202017.pdf
2. DP Paralysie Cérébrale VF.pdf [Internet]. Disponible sur: https://www.fondationparalysiecerebrale.org/sites/default/files/inline-files/DP%20Paralysie%20Ce%CC%81re%CC%81brale%20VF.pdf
3. Martin-Mattera P. Le statut subjectif de la douleur : fatalité ou symptôme. Psychotherapies. 26 juin 2014;Vol. 34(2):117-23.
4. Cans C. Épidémiologie de la paralysie cérébrale (« cerebral palsy » ou cp). Motricité Cérébrale : Réadaptation, Neurologie du Développement. 1 juin 2005;26(2):51-8.
5. Quelle rééducation en kinésithérapie pour la paralysie cérébrale de l'enfant ? [Internet]. Ordre des masseurs-kinésithérapeutes. 2019. Disponible sur: https://www.ordremk.fr/actualites/patients/quelle-reeducation-en-kinesitherapie-pour-la-paralysie-cerebrale-de-lenfant/
6. Ideclik. L'autisme en chiffres [Internet]. Volontaires pour les personnes avec autisme. 2021. Disponible sur: http://www.autisme.fr/l-autisme-en-chiffres.html
7. Larousse É. Définitions : mouvement - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. Disponible sur: https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mouvement/53021
8. Rabischong P. Anatomie compréhensive des fonctions motrices. de boeck-Solal. 2013. 171 p.
9. Analyse du mouvement - Compte Rendu - 1028 Mots [Internet]. Etudier. Disponible sur: https://www.etudier.com/dissertations/Analyse-Du-Mouvement/65450407.html

10. La capture cinématique du mouvement en 3D avec caméras à émissions infrarouges et marqueurs passifs réfléchissants | ACAPS [Internet]. 2017. Disponible sur: https://www.acaps.asso.fr/capture-cinematique/

11. L'Unité Clinique d'Analyse du Mouvement [Internet]. Centre de sante des PEP06. Disponible sur: http://www.centredesante-pep06.fr/l-analyse-quantifiée-de-la-marche/

12. Guide technique - SOFPEL [Internet]. Disponible sur: http://www.posture-equilibre.asso.fr/guide-technique/

13. Capture et modélisation 3D du mouvement en biomécanique [Internet]. Trinoma. Disponible sur: https://trinoma.fr/nos-solutions/biomecanique/

14. Association française de mécanique. Analyse 3D du mouvement. Tony monnet; patrick Lacouture; Floren Colloud; 2010.

15. Delafontaine A. Réussir la démarche de recherche universitaire en kinésithérapie et thérapie manuelle: Méthodologie. Lecture critique d'articles. Mémoire de fin d'études. Elsevier Health Sciences; 2019. 593 p.

16. Wu G, van der Helm FCT, (DirkJan) Veeger HEJ, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. Journal of Biomechanics. 1 mai 2005;38(5):981-92.

17. Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur - Membre Supérieur. 3ème édition. Vol. 2. Elsevier Masson; 2016. 536 p.

18. Kapandji AI. La Préhension dans la Main Humaine. Annales de Chirurgie de la Main. 1 janv 1989;8(3):234-41.

19. Jeannerod M. The Timing of Natural Prehension Movements. Journal of Motor Behavior. 1 sept 1984;16(3):235-54.

20. Pozzo T, Berthoz A, Lefort L. Head stabilization during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects. Exp Brain Res. 1990;82(1):97-106.

21. Boxum AG, La Bastide-Van Gemert S, Dijkstra L-J, Hamer EG, Hielkema T, Reinders-Messelink HA, et al. Development of the quality of reaching in infants with cerebral palsy: a kinematic study. Dev Med Child Neurol. nov 2017;59(11):1164-73.
22. Thelen E, Corbetta D, Kamm K, Spencer JP, Schneider K, Zernicke RF. The transition to reaching: mapping intention and intrinsic dynamics. Child Dev. Août 1993;64(4):1058-98.
23. Berthier NE, Keen R. Development of reaching in infancy. Exp Brain Res. Mars 2006;169(4):507-18.
24. Zoia S, Pezzetta E, Blason L, Scabar A, Carrozzi M, Bulgheroni M, et al. A comparison of the reach-to-grasp movement between children and adults: a kinematic study. Dev Neuropsychol. 2006;30(2):719-38.
25. La petite enfance dans le Monde et ses acteurs majeurs [Internet]. Disponible sur: https://www.espace-concours.fr/actualites/monde-petite-enfance-acteurs-majeurs
26. OMS | Développement du jeune enfant [Internet]. WHO. Disponible sur: https://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/child/development/fr/
27. PRÉSCOLAIRE : Définition de PRÉSCOLAIRE [Internet]. Disponible sur: https://www.cnrtl.fr/definition/pr%C3%A9scolaire
28. Instruction obligatoire [Internet]. Disponible sur: https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F1898
29. Développement de la préhension de la naissance à 2 ans | Développement de l'enfant [Internet]. Disponible sur: http://developpement.ccdmd.qc.ca/fiche/developpement-de-la-prehension-de-la-naissance-2-ans
30. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. Dev Med Child Neurol. Août 2005;47(8):571-6.

31. Little WJ. On the influence of abnormal parturition, difficult labours, premature birth, and asphyxia neonatorum, on the mental and physical condition of the child, especially in relation to deformities. Clin Orthop Relat Res. Juin 1966;46:7-22.

32. Bax MC. Terminology and classification of cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. Juin 1964;6:295-7.

33. Kruse M, Michelsen SI, Flachs EM, Brønnum-Hansen H, Madsen M, Uldall P. Lifetime costs of cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. août 2009;51(8):622-8.

34. Déficiences et handicaps d'origine périnatale. Dépistage et prise en charge [Internet]. Disponible sur: http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/56

35. CNFS. Paralysie cérébrale [Internet]. Disponible sur: https://cnfs.ca/pathologies/paralysie-cerebrale

36. Johnston MV, Hagberg H. Sex and the pathogenesis of cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. Janv 2007;49(1):74-8.

37. Moreno-De-Luca A, Ledbetter DH, Martin CL. Genetic [corrected] insights into the causes and classification of [corrected] cerebral palsies. Lancet Neurol. Mars 2012;11(3):283-92.

38. Pharoah POD. Prevalence and pathogenesis of congenital anomalies in cerebral palsy. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. nov 2007;92(6):F489-493.

39. Adde L, Helbostad JL, Jensenius AR, Taraldsen G, Støen R. Using computer-based video analysis in the study of fidgety movements. Early Hum Dev. sept 2009;85(9):541-7.

40. European Platform on Rare Disease Registration [Internet]. Disponible sur: https://eu-rd-platform.jrc.ec.europa.eu

41. Cerebral Palsy Cell Therapy Comparison [Internet]. Disponible sur: https://parentsguidecordblood.org/en/news/cerebral-palsy-cell-therapy-comparison

42. Eliasson A-C, Krumlinde-Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Öhrvall A-M, et al. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. Developmental Medicine and Child Neurology. Juill 2006;48(7):549-54.

43. Summary of the five Manual Ability Classification System. [Internet]. ResearchGate. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-the-five-Manual-Ability-Classification-System-MACS-levels-Reproduced-with_fig2_316555351

44. Définition de la paralysie cérébrale : FFAIMC [Internet]. Disponible sur: https://ffaimc.org/defparalysie/

45. Duruflé A, Gallien P, Nicolas B, Colin A. Étude des causes médicales de décès dans la paralysie cérébrale. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. mai 2014;57:e353-4.

46. Qu'est-ce que l'autisme ? [Internet]. CRA Bretagne. Disponible sur: https://www.cra.bzh/qu-est-ce-que-l-autisme

47. Moskowitz A, Heim G. Eugen Bleuler's Dementia Praecox or the Group of Schizophrenias (1911): A Centenary Appreciation and Reconsideration. Schizophrenia bulletin. 1 mai 2011;37:471-9.

48. Kanner, Leo. "Autistic Disturbances of Affective Contact." Nervous Child: Journal of Psychopathology, Psychotherapy, Mental Hygiene, and Guidance of the Child 2 (1943): 217–50.

49. Histoire de l'autisme : des années 1940 à nos jours [Internet]. Comprendre l'autisme. Disponible sur: https://comprendrelautisme.com/lautisme/histoire-de-lautisme/

50. Hans Asperger, Autistic Psychopathy' in Childhood, dans Autism and Asperger Syndrome, Uta Frith (Cambridge: Cambridge University Press, 1991), 37-92

51. DICOM_Oceane.D, DICOM_Oceane.D. La stratégie nationale [Internet]. Secrétariat d'État auprès du Premier ministre chargé des Personnes handicapées. 2021. Disponible sur: https://handicap.gouv.fr/autisme-et-troubles-du-neuro-developpement/article/la-strategie-nationale

52. Autisme [Internet]. Inserm - La science pour la santé. Disponible sur: https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/autisme

53. HAS et Anesm. Proposition de présentation des documents de recommandations de bonnes pratiques sur : Autisme et autres troubles envahissants du développement : interventions éducatives et thérapeutiques coordonnées chez l'enfant et l'adolescent [Internet]. 2012. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2012-03/recommandations_autisme_ted_enfant_adolescent_interventions.pdf

54. OMS. CIM-10/ICD-10. Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement, descriptionS cliniques et directives pour le diagnostic, 10ème révision - OMS. elvessier masson. 1992. 307 p.

55. Les signes de l'autisme : description des comportements chez l'enfant [Internet]. Comprendre l'autisme. Disponible sur: https://comprendrelautisme.com/lautisme/les-signes-de-lautisme/

56. Ha C, Chee CC. Prévalence des troubles du spectre de l'autisme / Prevalence of Autism Spectrum Disorders. :32.Santé publique France 10-03-2020

57. Autisme de l'enfant : accélérer les étapes jusqu'au diagnostic, agir sans attendre [Internet]. Haute Autorité de Santé. Disponible sur: https://handicap.gouv.fr/autisme-et-troubles-du-neuro-developpement/intervenir-

58. Trouble du spectre de l'autisme - Signes d'alerte, repérage, diagnostic et évaluation chez l'enfant et l'adolescent [Internet]. Haute Autorité de Santé. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_468812/fr/trouble-du-spectre-de-l-autisme-signes-d-alerte-reperage-diagnostic-et-evaluation-chez-l-enfant-et-l-adolescent

59. Les vertus de la kinésithérapie pour l'enfant autiste [Internet]. Kinésithérapeutes. 2019. Disponible sur: http://www.kinesitherapeutes.info/lutte-contre-lautisme-chez-les-enfants-avec-la-kinesitherapie/

60. L'évolution de l'autisme et des autres TED [Internet]. VIDAL. Disponible sur: https://www.vidal.fr/maladies/chez-les-enfants/autisme-troubles-envahissants-developpement/evolution.html

61. Le Métayer M. Rééducation cérébro-motrice du jeune enfant - Education thérapeutique. 2ème édition. Masson; 1999. 192 p.

62. Université de montréal. Rédiger une revue systématique [Internet]. 2018. Disponible sur: http://guides.bib.umontreal.ca/disciplines-impression/584-Re

63. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. 29 mars 2021;n71.

64. Le MeSH de Medline : définition - Principes - Raisons de l'utiliser [Internet]. Disponible sur: https://www.medsyn.fr/perso/g.perrin/recherche/medline/mesh.htm

65. Von Hofsten C, Rönnqvist L. Preparation for grasping an object: a developmental study. J Exp Psychol Hum Percept Perform. Nov 1988;14(4):610-21.

66. Konczak J, Borutta M, Topka H, Dichgans J. The development of goal-directed reaching in infants: hand trajectory formation and joint torque control. Exp Brain Res. 1995;106(1):156-68.

67. Konczak J, Dichgans J. The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in the first 3 years of life. Exp Brain Res. nov 1997;117(2):346-54.

68. Kuhtz-Buschbeck JP, Stolze H, Jöhnk K, Boczek-Funcke A, Illert M. Development of prehension movements in children: a kinematic study. Exp Brain Res. Oct 1998;122(4):424-32.

69. Kuhtz-Buschbeck JP, Boczek-Funcke A, Illert M, Joehnk K, Stolze H. Prehension movements and motor development in children. Exp Brain Res. Sept 1999;128(1-2):65-8.

70. Newman C, Atkinson J, Braddick O. The development of reaching and looking preferences in infants to objects of different sizes. Dev Psychol. juill 2001;37(4):561-72.

71. Schneiberg S, Sveistrup H, McFadyen B, McKinley P, Levin MF. The development of coordination for reach-to-grasp movements in children. Exp Brain Res. sept 2002;146(2):142-54.

72. Van der Heide JC, Fock JM, Otten B, Stremmelaar E, Hadders-Algra M. Kinematic characteristics of reaching movements in preterm children with cerebral palsy. Pediatr Res. juin 2005;57(6):883-9.

73. Rönnqvist L, Domellöf E. Quantitative assessment of right and left reaching movements in infants: a longitudinal study from 6 to 36 months. Dev Psychobiol. sept 2006;48(6):444-59.

74. Chen Y, Yang T-F. Effect of task goals on the reaching patterns of children with cerebral palsy. J Mot Behav. juill 2007;39(4):317-24.

75. Carrico RL, Berthier NE. Vision and precision reaching in 15-month-old infants. Infant Behav Dev. Janv 2008;31(1):62-70.

76. Mason AH, Bruyn JL, Lazarus J-AC. Bimanual coordination in children: manipulation of object size. Exp Brain Res. avr 2010;201(4):797-807.

77. Perego P, Forti S, Crippa A, Valli A, Reni G. Reach and throw movement analysis with support vector machines in early diagnosis of autism. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2009;2009:2555-8.

78. Chen Y, Keen R, Rosander K, von Hofsten C. Movement planning reflects skill level and age changes in toddlers. Child Dev. déc 2010;81(6):1846-58.

79. Babinsky E, Braddick O, Atkinson J. Infants and adults reaching in the dark. Exp Brain Res. Mars 2012;217(2):237-49.

80. Babinsky E, Braddick O, Atkinson J. The effect of removing visual information on reach control in young children. Exp Brain Res. oct 2012;222(3):291-302.

81. Mason AH, Bruyn JL, Lazarus J-AC. Bimanual coordination in children: manipulation of object distance. Exp Brain Res. nov 2013;231(2):153-64.

82. Nelson EL, Konidaris GD, Berthier NE. Hand preference status and reach kinematics in infants. Infant Behav Dev. nov 2014;37(4):615-23.

83. Crippa A, Salvatore C, Perego P, Forti S, Nobile M, Molteni M, et al. Use of Machine Learning to Identify Children with Autism and Their Motor Abnormalities. J Autism Dev Disord. juill 2015;45(7):2146-56.

84. Campione GC, Piazza C, Villa L, Molteni M. Three-Dimensional Kinematic Analysis of Prehension Movements in Young Children with Autism Spectrum Disorder: New Insights on Motor Impairment. J Autism Dev Disord. juin 2016;46(6):1985-99.

85. Hung Y-C, Ferre CL, Gordon AM. Improvements in Kinematic Performance After Home-Based Bimanual Intensive Training for Children with Unilateral Cerebral Palsy. Phys Occup Ther Pediatr. nov 2018;38(4):370-81.

86. Jung WP, Kahrs BA, Lockman JJ. Fitting handled objects into apertures by 17- to 36-month-old children: The dynamics of spatial coordination. Dev Psychol. Févr 2018;54(2):228-39.

87. Domellöf E, Johansson A-M, Rönnqvist L. Developmental progression and side specialization in upper-limb movements from 4 to 8 years in children born preterm and fullterm. Dev Neuropsychol. 2018;43(3):219-34.

88. Ma L-L, Wang Y-Y, Yang Z-H, Huang D, Weng H, Zeng X-T. Methodological quality (risk of bias) assessment tools for primary and secondary medical studies: what are they and which is better? Mil Med Res. 29 2020;7(1):7.

89. Kambas A, Venetsanou F, Giannakidou D, Fatouros IG, Avloniti A, Chatzinikolaou A, et al. The Motor-Proficiency-Test for children between 4 and 6 years of age (MOT 4–6): An investigation of its suitability in Greece. Research in Developmental Disabilities. sept 2012;33(5):1626-32.

90. Hayley SM. Pediatric Evaluation of disability Inventory - Evaluation of disability Inventory: Development, Standardisation, and Administration Manual. 1963.

91. Simon-Martinez C, Dos Santos GL, Jaspers E, Vanderschueren R, Mailleux L, Klingels K, et al. Age-related changes in upper limb motion during typical development. PLoS One. 2018;13(6):e0198524.

92. Johansson A-M, Domellöf E, Rönnqvist L. Long-term influences of a preterm birth on movement organization and side specialization in children at 4-8 years of age. Dev Psychobiol. sept 2014;56(6):1263-77.

93. Domellöf E, Hopkins B, Francis B, Rönnqvist L. Effects of finger markers on the kinematics of reaching movements in young children and adults. J Appl Biomech. nov 2007;23(4):315-21.

94. Bhat AN, Lee HM, Galloway JC. Toy-oriented changes in early arm movements II--joint kinematics. Infant Behav Dev. Mai 2007;30(2):307-24.

95. Harbourne RT, Lobo MA, Karst GM, Galloway JC. Sit happens: Does sitting development perturb reaching development, or vice versa? Infant Behav Dev. Juin 2013;36(3):438-50.

96. Jaspers E, Feys H, Bruyninckx H, Cutti A, Harlaar J, Molenaers G, et al. The reliability of upper limb kinematics in children with hemiplegic cerebral palsy. Gait Posture. Avr 2011;33(4):568-75.

97. Chen H, Kang L, Chen C, Lin K, Chen F, Wu KPH. Younger Children with Cerebral Palsy Respond Better Than Older Ones to Therapist-Based Constraint-Induced Therapy at Home on Functional Outcomes and Motor Control. Phys Occup Ther Pediatr. 2016;36(2):171-85.

98. OMS. Norme OMS de croissance de l'enfance [Internet].Disponible sur: https://www.who.int/childgrowth/standards/tr_summary_french.pdf

Annexes

Table des Annexes

Annexe I : Tableau des mots-clés utilisés pour la création de l'équation de recherche.....I
Annexe II : Équation de recherche.....II
Annexe III : Liste des articles inclus dans la recherche.....III
Annexe IV : Échelle de Qualité.....IV
Annexe V : Tableau d'extraction des informations du type d'étude et de l'échelle de qualité.....VI
Annexe VI : Tableau d'extraction des informations de la population.....VII
Annexe VII : Tableau d'extraction des informations du système d'analyse.....VIII
Annexe VIII : Tableau d'extraction des informations du protocole IX
Annexe IX : Tableau d'extraction des informations des paramètres.....XI

Annexe I : Tableau des mots-clés utilisés pour la création de l'équation de recherche

POPULATON		METHODE		SEGMENT		TACHE	
Terme	Type	Terme	Type	Terme	Type	Terme	Type
Infant	Mesh	Motor skills	Mesh	Extremity, upper	Mesh	Grasp*	Texte
Child, preschool	Mesh	Movement	Mesh			Reach*	Texte
Aging	Mesh			Upper extremity	Texte	Catch*	Texte
		Biomecanic*	Texte	Upper extremities	Texte	Handle	Texte
Baby	Texte	Kinematic*	Texte	Upper limb	Texte	Unimanual	Texte
Toddler*	Texte	Movement	Texte	Upper limbs	Texte	Bimanual	Texte
Infant	Texte	Spatio-temporal	Texte	Shoulder	Texte	Prehension	Texte
Child	Texte	Motion Analysis	Texte	Shoulders	Texte		
Childhood	Texte			Arm	Texte		
				Arms	Texte		
				Elbow	Texte		
				Elbows	Texte		
				Wrist	Texte		
				Wrists	Texte		
				Hand	Texte		
				Hands	Texte		
				Finger	Texte		
				Fingers	Texte		
				Thumb	Texte		
				Thumbs	Texte		

Annexe II : Équation de recherche

(((((infants[MeSH Terms]) OR (child, preschool[MeSH Terms])) OR (((((baby[Text Word]) OR (Toddler*[Text Word])) OR (infant[Text Word])) OR (child[Text Word])) OR (childhood*[Text Word]))) AND (((motor skills[MeSH Terms]) OR (Movement[MeSH Terms])) OR (((((Biomechanic*[Text Word]) OR (kinematic*[Text Word])) OR (movement[Text Word])) OR (spatio temporal[Text Word])) OR (motion analysis[Text Word]))))) AND (((upper extremities[MeSH Terms]) OR (extremity, upper[MeSH Terms])) OR ((((((((((((((((upper extremity[Text Word]) OR (upper extremities[Text Word])) OR (upper limb[Text Word])) OR (upper limbs[Text Word])) OR (shoulder[Text Word])) OR (shoulders[Text Word])) OR (arm[Text Word])) OR (arms[Text Word])) OR (elbow[Text Word])) OR (elbows[Text Word])) OR (wrist[Text Word])) OR (wrists[Text Word])) OR (hand)) OR (hands[Text Word])) OR (finger[Text Word])) OR (fingers[Text Word])) OR (thumb[Text Word])) OR (thumbs[Text Word]))))) AND (((((((grasp*[Text Word]) OR (Reach-to-grasp*[Text Word]) OR (reach*[Text Word])) OR (catch*[Text Word])) OR (handle[Text Word])) OR (unimanual[Text Word])) OR (bimanual[Text Word])) OR (prehension[Text Word]))

Annexe III : Liste des articles inclus dans la recherche

1. VON HOFSTEN AND RONNQVIST, 1988, Preparation of grasping an object adevelopmental study
2. KONCZAK, 1995, The development of goal directed reaching in infants hand trajectory formation and joint torque control
3. KONCZAK, 1997, The development toward stereotypic arm kinematic during reaching in the first 3 years of life
4. KUHTZ-BUNCHBECK,1998, Development of prehension movements in children: a kinematic study
5. KUHTZ-BUNCHBECK, 1999, Prehension movements and motor development in children
6. NEWMAN, 2001, The development of reaching and looking preferencies in infants to object of different sizes
7. SCHNEIBERG, 2002, The development of coordination for reach to grasp movement in children
8. VAN DER HEIDE, 2005, Kinematic characteristics of reaching movement in preterm children with Cerebral Palsy
9. RONNQVIST, 2006, Quantitative assesment of Right and Left Reaching movements in infants: a longitudinal study from 6 to 36 months
10. BERTHIER, 2006, development of reaching in infancy
11. ZOIA, 2006, A comparison of the Reach-To-Grasp movement between children and adult
12. CHEN, 2007, Effect of Task Goals on the Reaching Patterns of Children With Cerebral Palsy
13. CARRICO, 2008, Vision and precision reaching in 15-month-old infants
14. MASON, 2009, Bimanual coordination in children : manipulation of object size
15. PEREGO, 2009, Reach and throw movement analysis system with Support Vector Machines in early diagnosis of autism
16. CHEN, 2010, Reach and throw movement analysis system with Support Vector Machines in early diagnosis of autism
17. BABINSKY, 2011, Infants and adults reaching in the dark
18. BABINSKY, 2012, The effect of removing visual informationon reach control in young children
19. MASON, 2013, Bimanual corordination in children: manipulation of object distance
20. NELSON, 2014, Hand preference status and reach kinematics in infants
21. CRIPPA, 2015, Use of Machine Learning to Identify Children with Autism and Their Motor Abnormalities
22. CAMPIONE, 2016, 3D kinematic analysis of prehension movement in young children with autsim spectrum disorder: new insights on motor impairment
23. HUNG, 2018, Improvements in Kinematic performance after Home-Based bimanual intensive training for Children with Unilateral Cerebral Palsy
24. JUNG, 2018, fitting handle object in 2 aperures by 17 to 36 months old children
25. DOMELLOF, 2018, developmental progression and side specialization in upper limb movements from 4 to 8 years in children born PreTerm and FullTerm

Annexe IV : Échelle de Qualité

Preschool hand : Échelle d'évaluation de la qualité des articles

I. Qualité d'écriture et risques de biais (sur 14)

- 1. Was the objective clearly stated ?

2 : *Objective(s), Population and outcome(s) were stated*

1 : *One of the 3 was not stated*

0 : *Population, objectives and outcomes were not stated*

- 2. Was the sample size accurately stated ?

1 : *Yes* ***0 :*** *No*

- 3. Was the sample size justified ?

1 : *Yes* ***0 :*** *No*

- 4. Was the population recruited in an acceptable way ?

1 : *No bias selection*

0 : *Selection bias (consecutive, convenient sample, hazard)*

- 5. Were the statistical tools well described ?

2 : *Yes, there is enough information to reproduce the same statistical analysis.*

1 : *Partial, there are some missing informations to reproduce the same statistical analysis*

0 : *No information to reproduce the statistical analysis*

- 6. Results were reported in terms of statistical significance ?

2 : *Yes, all results were reported in terms of statistical significance.*

1 : *Partial, Some results were reported in terms of statistical significance.*

0 : *No results were reported in terms of statistical significance.*

- 7. Are the limitations of the study discussed ?

2 : *Yes, All the limitations of the study was discussed*

1 : *Partial, Some limitations of the study were not discussed*

0 : *No, Limitations were not discussed.*

- 8. Does the conclusion answer to the author's question ?

2 : *Totally*

1 : *Partial*

0 : *No*

II. **Pertinence et Qualité de l'étude biomécanique (sur 12 ou 14)**

- 1. Is the motion analysis system described (type and number of cameras) ?

2 : *Yes, there is enough information to reproduce the same experimentation.*

1 *: Partial, Some informations were missing to reproduce the same experimentation.*

0 : *No information.*

- 2. Are markers location accurately described ?

2 : *Yes, At anatomical point scale.*

1 : *Partial, at segment scale*

0 : *No*

- 3. Is the starting position of the subject (including his hand) accurately described ?

2 : *Yes, the starting position of the subject and his hand is described.*

1 : *Partial, the starting position of the subject or the starting position of the hand is not described.*

0 : *No,there is no information about starting position*

- 4. Is the toy used and his location clearly described ?

2 : *Yes, the toy and its location were described.*

1 : *Partial, the information about the toy or/and is location were partial (for instance no dimension).*

0 : *No information*

1. 5. Was the determination of the onset and end of the analysed movement accurately described ?

2 : *Enough information to reproduce exactly the same method.* ***1 :*** *Partial, some information were missing to reproduce exactly the same method.* ***0 :*** *No information*

- 6. Is the parameters computation clearly described ?

2 : *Yes, each parameter computation is accurately described and reproducible.*

1 : *Partial, there are some missing information to reproduce the same computation.*

0 : *No, the parameters computation was not described.*

- 7. If angular kinematic is computed :

Does the modelling well describe?

2 : *Yes, there is enough information to reproduce the same modelling.*

1 : *Partial, there are some missing information to reproduce the same modelling.*

0 : *No information to reproduce the statistical analysis.*

Has the protocol used (task + method) been validated?

2 : *Yes* ***1 :*** *Partial* ***0 :*** *No*

Annexe V : Tableau d'extraction des informations du type d'étude et de l'échelle de qualité

Auteur	Type d'étude	Echelle de Qualité		
		Echelle d'écriture	Echelle biomécanique	Total
HOFSTEN et RÖNNQVIST, 1988	Etude observationnelle	9/13	11/12	20/25
KONCZAK, 1995	Etude longitudinale	7/13	10/12	17/25
KONCZAK, 1997	Etude longitudinale	8/13	10/16	18/29
KUHTZ-BUNCHBECK, 1998	Etude longitudinale	9/13	12/12	21/25
KUHTZ-BUNCHBECK, 1999	Etude observationnelle	7/13	7/12	14/25
NEWMAN, 2001	Etude observationnelle	11/13	11/12	22/25
SCHNEIBERG, 2002	Etude longitudinale	8/13	12/12	20/25
VAN DER HEIDE, 2005	Etude longitudinale	9/13	11/12	20/25
RONNQVIST, 2006	Etude observationnelle	11/13	12/12	23/25
BERTHIER, 2006	Etude longitudinale	7/13	11/12	18/25
ZOIA, 2006	Etude observationnelle	10/13	12/12	22/25
CHEN, 2007	Etude longitudinale	12/13	12/12	24/25
CARRICO, 2008	Etude observationnelle	11/13	9/12	20/25
MASON, 2009	Etude observationnelle	9/13	11/12	20/25
PEREGO, 2009	Etude interventionnelle	8/13	11/12	19/25
CHEN, 2010	Etude observationnelle	9/13	10/12	19/25
BABINSKY, 2011	Etude observationnelle	12/13	11/12	23/25
BABINSKY, 2012	Etude observationnelle	9/13	10/12	19/25
MASON, 2013	Etude observationnelle	9/13	11/12	20/25
NELSON, 2014	Etude longitudinale	12/13	9/12	21/25
CRIPPA, 2015	Etude interventionnelle	9/13	11/12	20/25
CAMPIONE, 2016	Etude longitudinale	11/13	12/12	23/25
HUNG, 2018	Etude post-thérapie	12/13	12/12	24/25
JUNG, 2018	Etude longitudinale	10/13	11/12	21/25
DOMELLOF, 2018	Etude longitudinale	9/13	9/12	18/25

Annexe VI : Tableau d'extraction des informations de la population

Auteur	Pathologie	Age	Nombre
HOFSTEN et RÖNNQVIST, 1988	TD	13 mois	N = 10
KONCZAK, 1995	TD	13 et 16 mois	N = 9
KONCZAK, 1997	TD	12, 15, 24 et 36 mois	N = 9
KUHTZ-BUNCHBECK, 1998	TD	4 ans (48-51 mois)	N = 11
KUHTZ-BUNCHBECK, 1999	TD	4 et 5 ans	N = 30
NEWMAN, 2001	TD	12 à 15 mois	N = 39
SCHNEIBERG, 2002	TD	4 à 5 ans	N = 9
VAN DER HEIDE, 2005	TD PC (SH et BiPC)	Entre 2 et 4 ans	N = 7 pour les TD N = 8 pour les SH N = 4 pour les BiPC
RONNQVIST, 2006	TD PT	12 et 36 mois	N = 13 pour les TD N = 4 pour les PT
BERTHIER, 2006	TD	12, 16 et 20 mois	N = 5
ZOIA, 2006	TD	5 ans	N = 10
CHEN, 2007	TD PC spastique	4,2 ans pour les PC 4,2 ans pour les TD	N = 17 pour PC N = 17 pour les TD
CARRICO, 2008	TD	15 mois	N = 16
MASON, 2009	TD	4,5 ans	N = 16
PEREGO, 2009	TSA TD	41,6 mois pour TD 41, 4 mois pour ASD	N = 10 pour TD N = 10 pour les ASD
CHEN, 2010	TD	Entre 18 et 21 mois Entre 30 et 37 mois	N = 34 à 18-21 mois N = 17 à 30-37 mois
BABINSKY, 2011	TD	16 mois	N = 11
BABINSKY, 2012	TD	Entre 4,5 ans-5,7 ans Age moyen 4,8ans	N = 19
MASON, 2013	TD	4,8ans (entre 4-6ans)	N = 14
NELSON, 2014	TD	14 mois	N = 18
CRIPPA, 2015	TSA TD	Entre 2 et 4 ans	N = 15 pour les TD N = 15 pour les ASD
CAMPIONE, 2016	TSA TD	5,1 ans pour les ASD 4,7 ans pour les TD	N = 9 pour les ASD N = 11 pour les TD
HUNG, 2018	PC hémiplégique	Entre 29 et 54 mois Age moyen 43 mois	N = 7
JUNG, 2018	TD	Entre 17,3-36,4 mois	N = 30
DOMELLOF, 2018	TD PT	4,5 ans pour les PT 4,3 ans pour les TD	N = 18 pour les PT N = 19 pour les TD

Annexe VII : Tableau d'extraction des informations du système d'analyse

Auteur	Système 3D	Frequence	Type système	Caméras	Position du marqueur	Taille du marqueur
HOFSTEN et RÖNNQVIST, 1988	Selpot II	300Hz	Actif	2	2 : Main, Sur chaque bras	6mm de diamètres
KONCZAK, 1995	Elite	100Hz	Passif	2	1 : Epaule, 1 : Coude, 2 : Main	x
KONCZAK, 1997	Opto-électronique	x	x	Pas spécifié	1 : Epaule, 1 : Coude, 1 : Main	x
KUHTZ-BUNCHBECK, 1998	Qualysis	50Hz	Passif	2	3 : Poignet	5mm de diamètres
KUHTZ-BUNCHBECK, 1999	Qualysis	x	Passif	Pas spécifié	3 : Main	x
NEWMAN, 2001	Elite	50Hz	Passif	2	1 : Main, + objets	x
SCHNEIBERG, 2002	Optotrack	100Hz	Actif	Pas spécifié	1 : Tronc,2 : Epaule,1 : Coude,1 : Poignet,3 : Main	x
VAN DER HEIDE, 2005	Elite	50Hz	Passif	4	1 : Poignet	x
RONNQVIST, 2006	Qualisys	x	Passif	6	1 : Poignet, Sur chaque bras, + 7 : tableau	x
BERTHIER, 2006	Optotrack	100Hz	Actif	3	1 : Epaule, 1 : Coude, 4 : Main	x
ZOIA, 2006	Qualisys	200Hz	Passif	4	1 : Poignet, 2 : Main	5mm de diamètres
CHEN, 2007	Vicon	60Hz	Passif	6	3 : Main, + Objet	9mm de diamètres
CARRICO, 2008	Optotrack	100Hz	Actif	3	2 : Main	x
MASON, 2009	Phoenix, Visualeyez	200Hz	Actif	Pas spécifié	1 : Poignet, 2 : Main, Sur chaque bras	x
PEREGO, 2009	Smart Milan	60Hz	Passif	8	1 : Epaule,1 : Coude,2 : Poignet, 1 : Main, + Objet	x
CHEN, 2010	Phoenix	100Hz	Actif	2 rangées de caméras	2 : Poignet, Sur chaque bras	5mm de diamètres
BABINSKY, 2011	Smart Milan	60Hz	Passif	6	1 : Main, + objet, Sur chaque bras	15mm de diamètres
BABINSKY, 2012	Smart Milan	60Hz	Passif	6	1 : Poignet, Sur chaque bras	15mm de diamètres
MASON, 2013	Phoenix, Visualeyez	200Hz	Actif	Pas spécifié	1 : Poignet, 2 : Main, Sur chaque bras	x
NELSON, 2014	Phoenix, Visualeyez	x	Actif	Pas spécifié	2 : Poignet	5mm de diamètres
CRIPPA, 2015	Smart Milan	60Hz	Passif	8	2 : Poignet, 2 : Main	10mm de diamètres
CAMPIONE, 2016	Smart Milan	60Hz	Passif	6	1 : Poignet, 2 : Main	5mm de diamètres
HUNG, 2018	Vicon	120Hz	Passif	8	2 : Epaule, 2 : Coude, 1 : Poignet	x
JUNG, 2018	Qualisys	240Hz	Passif	8	3 : Main, + Objet	x
DOMELLOF, 2018	Qualisys	120Hz	Passif	6	1 : Front, 1 : Epaule, 1 : Coude, 1 : Poignet 1 : Main, Sur chaque bras, + objet	x

Annexe VIII : Tableau d'extraction des informations du protocole

Auteur	Tâche	Influence du contexte	Session/ Entrainement	Proportion distance/corps	Position de la main	Matériel utilisé	Vitesse
HOFSTEN et RÖNNQVIST, 1988	Reach-to-Grasp	Taille objet	18 essais au maximum Session de 10 minutes 3 secondes par essai	Même distance	Fixé	Objets sphériques de 3 tailles	x
KONCZAK, 1995	Reach-to-Grasp	x	16 à 20 essais pour une session 15 secondes par essai	Proportionnel	Pas fixé	Petits jouets	x
KONCZAK, 1997	Toucher l'objet	x	15 secondes par essai	x	Pas fixé	Balles	x
KUHTZ-BUNCHBECK, 1998	Reach-to-Grasp	x	10 essais par condition + entrainement	Proportionnel	Fixé	Cylindres	Libre
KUHTZ-BUNCHBECK, 1999	Reach et Soulever	Vision Bimanuel	10 essais par condition	Proportionnel	Pas fixé	Objets cylyndriques	Libre
NEWMAN, 2001	Toucher ou Attraper l'objet	Taille objet	12 essais par main + entrainement	Même distance	x	Cylindres	x
SCHNEIBERG, 2002	Reach-to-Grasp	x	10 essais par cible (total 30) + 2 entrainements par essai 3 secondes par essai	Proportionnel	Fixé	Bloc de bois	Libre
VAN DER HEIDE, 2005	Attraper	x	10 à 20 essais + entrainement 8 à 12 secondes par essai	Même distance	x	Petites marionettes	Libre
RONNQVIST, 2006	Reach-to-Grasp + dessiner, tapper et jeter à 36mois	Taille objet Latéralité	12 essais (4 par position). 1 ou 2 blocs au choix. A 36mois, 5 essais par item 4 secondes par essai	Proportionnel	Fixé	Panneau avec cheville	x
BERTHIER, 2006	Reach-to-Grasp	x	Entre 2 et 14 sessions. Total entre 3 à 94 essais 10 à 20 secondes par essai	Même distance	x	Céréales (cheerios)	Libre
ZOIA, 2006	Reach-to-Grasp et Soulever	Taille objet Vision	2 sessions de 2 heures. 1 session = 4 blocs. 1 bloc = 18 essais + 2 entrainements	Même distance	Fixé	Cylindres en bois	Libre
CHEN, 2007	Attrapper, Tenir, placer ou jeter	x	Au moins 5 essais + Au moins 3 entrainements	Même distance	Fixé	Balle tennis + cylindre	Rapide
CARRICO, 2008	Reach	Vision Taille objet	16 essais ou plus + 4 entrainements (1 par type) 10 secondes par essai	Proportionnel	x	Balle fluorescente + céréales (cheerios)	x
MASON, 2009	Reach-to-Grasp	Unimanuel Bimanuel Taille objet	5 essais par condition. Total : 20 essais unimanuels et 20 essais bimanuels.	Proportionnel	Fixé	Cible en cylindre avec objets	Libre

Auteur	Tâche	Influence du contexte	Session/ Entrainement	Proportion distance/corps	Position de la main	Matériel utilisé	Vitesse
PEREGO, 2009	Attraper et lâcher dans un trou	x	5 essais par côté	Même distance	x	Balle + panier basket	Vitesse poignet > 10mm/sec
CHEN, 2010	Construire une tour, Jeter le bloc	Taille objet	310 essais pour 4 enfants	Même distance	Pas fixé	Bloc	x
BABINSKY, 2011	Reach-to-Grasp	Vision Distance	16 à 24 essais par bloc 4 bloc ou plus Entrainement en lumière	Même distance	Fixé	objets (vache, cheval et chat) + boîte support	x
BABINSKY, 2012	Reach-to-grasp	Vision	14 à 20 essais des 4 conditions. 3 blocs + entrainement	Proportionnel	x	Jouets lumineux en forme d'animaux. + boite lumineuse	x
MASON, 2013	Reach-to-Grasp	Unimanuel Bimanuel Distance	5 essais par condition donc 20 unimanuels 20 bimanuels 4 essais d'entrainement	Proportionnel	Fixé	Cylindre et objet	Libre
NELSON, 2014	Grasp-to-place Grasp-to-eat	Préférence main	12 essais et plus si possible	Même distance	x	Balle ou céréales (cheerios)	x
CRIPPA, 2015	Attraper et lâcher dans un trou	Taille objet	5 essais par côté + entrainement	Même distance	Fixé	Balle	x
CAMPIONE, 2016	Reach-to-grasp + soulever et poser	x	16 essais + 4 entrainements par condition	Même distance	Fixé	Objet sphérique	Libre
HUNG, 2018	Ouvrir le tiroir et Appuyer sur un bouton	x	5 essais après chaque période + 2 entrainemnets	Même distance	x	Tiroir, Poignée, ressort	Libre
JUNG, 2018	Insérer dans une tige	x	Que les essais à droite	Même distance	Fixé	Tige	x
DOMELLOF, 2018	Pick-to-thread-to-pick	Latéralisation	6 essais de 30sec	Même distance	x	Perles et tige	Rapide

Annexe IX : Tableau d'extraction des informations des paramètres

Articles	Paramètres Spatio-temporel							Paramètres cinématiques	Paramètres autres
	Temporel		Spatial		Continuité			Angle	
	Vitesse	Temps	Trajectoire	Rectitude	Fluidité	Coordination	Unité de mouvement		
1 - HOFSTEN et RÖNNQVIST, 1988		x	x			x		x	x
2 - KONCZAK, 1995	x	x	x	x		x	x		x
3 - KONCZAK, 1997	x		x	x			x		x
4 - KUHTZ-BUNCHBECK, 1998	x	x	x		x	x	x	x	
5 - KUHTZ-BUNCHBECK, 1999	x	x		x				x	x
6 - NEWMAN, 2001	x	x	x	x					x
7 - SCHNEIBERG, 2002	x	x	x	x	x	x		x	
8 - VAN DER HEIDE, 2005	x	x	x	x			x		
9 - RONNQVIST, 2006	x	x	x	x	x		x		
10 - BERTHIER, 2006			x	x			x	x	
11 - ZOIA, 2006	x	x							
12 - CHEN, 2007		x		x	x		x		
13 - CARRICO, 2008	x	x		x					x
14 - MASON, 2009	x	x				x		x	x
15 - PEREGO, 2009	x	x		x			x	x	
16 - CHEN, 2010	x	x		x			x		x
17 - BABINSKY, 2011	x	x		x					x
18 - BABINSKY, 2012	x	x		x			x		x
19 - MASON, 2013	x	x				x			x
20 - NELSON, 2014	x	x		x	x				x
21 - CRIPPA, 2015	x	x					x	x	
22 - CAMPIONE, 2016	x	x						x	
23 - HUNG, 2018		x	x					x	
24 - JUNG, 2018		x						x	x
25 - DOMELLOF, 2018		x	x				x		
TOTAL	19	23	11	15	5	6	12	11	13

VITESSE	Article
Pic de vitesse	2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22
Vitesse des extrémités	3, 7, 9, 11, 17, 18
Vitesse maximale	2, 4, 5, 6, 8
Pic de vitesse d'ouverture de la préhension	4, 14, 19, 22
Vitesse moyenne	16, 17, 18, 20
Pic d'accélération	3, 21, 22
Pic tangentiel de la vitesse de la main	3,7
Nombre de pic	6,17
Pourcentage du pic de vitesse	9,16
Décélération du pic	21,22
Vitesse de fin	16

TEMPS	Article
Temps de mouvement total	4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 25
Temps du pic de vitesse	9, 11, 14, 15, 17, 18, 21, 22
Temps de réaction/Latence	4, 5, 11
Temps du pic d'accélération	4, 21, 22
Temps de décélération	6, 11, 22
Temps de manipulation	6, 20,22
Temps d'ouverture maximal de la préhension	11, 14, 22
Temps de fermeture de la préhension	1,22
Temps de survenue de début et de fin de la préhension	6,9
Pourcentage du temps du pic de vitesse	12,19
Temps relatif de préhension	14,19
Temps du pic de décélération	21,22
Temps relatif du couplage maximal	2
Variation intra-individuel du temps de mouvement	5
Temps entre le mouvement de bras et de tronc	7
Pourcentage du temps de mouvement	11
Temps de pic de vitesse tangentiel	14
Pourcentage du temps de décélération	22
Temps de synchronisation des 2 mains	23
Temps de chevauchement normalisé du mouvement	23

TRAJECTOIRE	Articles
Distance 3D	2, 3, 25
Longueur totale	2,3
Point de fin de la longueur de l'objet en mouvement	4,7
Distance par rapport à la fermeture de la prise	1
Trajectoire dans le plan horizontal	6
Index de courbure	8
Distance 3D totale de la trajectoire de préhension	9
Distance durant la préhension	10
Déplacement C7/CV	23
Trajectoire du bras	25

ANGLE	Articles
Ouverture de la préhension	1, 4, 5, 14, 22
Angle du poignet	15, 21, 24
Déplacement des angles des articulations	7
Angle du coude	10
Coefficient de variation d'angle	23
Paramètres d'angle	24

AUTRE	Articles
Nombre de préhension	1, 2, 3, 6, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 24
Type de prises	13, 17, 24
Anticipation	1
Score Total MOT	5
Age MQ	5
Nombre de fixations avant le mouvement	6
Genre	16
Ordre des tâches	16
Différence d'âge	18
Préférence de la main	24

NOM : IOOS
PRENOM : Léa

TITRE : Revue de littérature systématique sur l'analyse 3D du mouvement du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans

ABSTRACT :

Background: Different methods of motion analysis are found to study upper limb's (UL) movement in scientific literature. However, researches are usually made for adults or school children. No consensus exist for the assessment of UL with 3D motion analysis in pre-schooled children.

Purpose: The aim was to report 3D motion analysis protocols to assess upper limbs' movement in children aged between 1 and 5 years old.

Methods: Articles were selected from PubMed research database until March 2021. Included studies reported data on children aged between 1 and 5 years old, using an optoelectronic system and from only upper limbs' analysis. Newly created studies quality scales were used. Data on analysis system, protocols, parameters (temporospatial, kinematic, etc.) were reported. Typically developing children and children with UL impairments were compared. Reliability and validity of protocols were explored.

Results: 25 articles were included: 3 on children with Cerebral palsy, 3 on Autism Spectrum Disorder, 17 on typically developing and 2 on born preterm. Many protocols and optoelectronics systems appeared, adapted with children's ages but a same structure of the method was found. Reliability and validity were found only in two articles. Differences were found on pathologies only about characteristics of movement.

Conclusion: To conclude, various 3D protocols were described in 4 different population of children to explore UL movement in pre-school children. It would help to create a reference-based protocol. A 3D UL protocols in children between 1 and 5 years will serve to follow the children's development, to adjust medical care and to help diagnosis.

RESUME :

Introduction : Différentes méthodes d'analyse du mouvement existent pour étudier le mouvement du membre supérieur dans la littérature scientifique. Cependant, les recherches sont généralement réalisées pour les adultes ou les enfants d'âge scolaire. De plus, aucun consensus n'existe sur le protocole à utiliser pour étudier le membre supérieur avec l'analyse 3D du mouvement chez les enfants en âge préscolaire.

Objectif : Le but de ce mémoire était de rapporter les protocoles d'analyse 3D du mouvement pour l'étude du membre supérieur chez les enfants entre 1 et 5 ans.

Méthode : Tous types d'articles, d'auteurs ou d'années de publication trouvés sur Pubmed sont pris en compte. Les critères d'inclusion sont : les enfants âgés entre 1 et 5 ans, un système optoélectronique pour analyser le mouvement, et une étude du membre supérieur.

Résultats : 25 articles sont inclus dans la recherche systématique : 3 articles sur la paralysie cérébrale, 3 articles sur le trouble de spectre autistique, 2 articles d'enfants nés avant terme, et 17 articles d'enfants avec un développement typique. Les articles montrent une diversité de protocoles et de systèmes optoélectronique. Les protocoles sont généralement adaptés à l'âge des enfants, cependant une même structure dans la méthode est trouvée. La validité et la reproductibilité sont analysées dans seulement deux articles. Des différences sont retrouvées entre les pathologies uniquement sur les caractéristiques de la préhension.

Conclusion : Pour conclure, de nombreux protocoles 3D ont été décrits dans les 4 différentes populations d'enfants pour explorer l'analyse du mouvement du membre supérieur chez les enfants pré-scolaires. Leur analyse a permis d'aider à définir un protocole type. Les protocoles d'analyse 3D du membre supérieur chez les enfants de 1 à 5 ans serviront à suivre le développement des enfants, à ajuster les soins médicaux et à aider au diagnostic.

KEYWORDS : Children, Toddler, Infant, Pre-school, Optoelectronic system, 3D Motion Analysis, Prehension, Upper limb

MOTS CLES : Enfants, Jeune enfant, Nourrisson, Pré scolaire, Système Optoélectronique, Analyse 3D du mouvement, Préhension, Membre supérieur

Institut de formation en Masso-kinésithérapie du CHRU de Brest
22 avenue Camille Desmoulins – 29238 BREST CEDEX 3
TRAVAIL ECRIT DE FIN D'ETUDES - 2021